



<36601641130018

Physikalisches Wörterbuch

IV. Band.

Erste Abtheilung.

F.

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

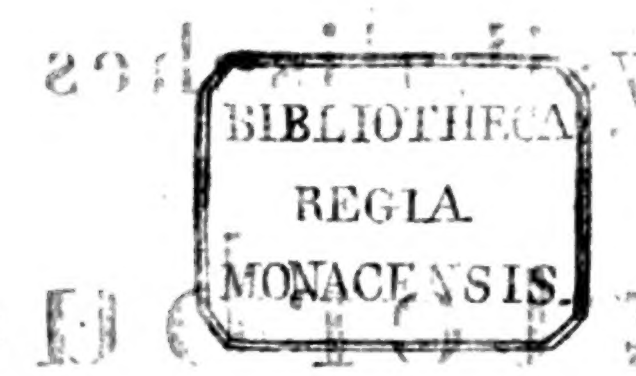
Vierter Band.

Erste Abtheilung.

F.

Mit Kupfertafeln I bis IX.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1827.


BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Physikalisches Wörterbuch

IV. Band.

F und G.



F.

Fäulnifs.

Putrefactio; putrefaction; *putrefaction.* Die meisten organischen Verbindungen des Pflanzen- und Thierreichs erleiden bei Gegenwart von Wasser und Luft eine Zersetzung, bei welcher sie, indem der Sauerstoff der Luft, des Wassers und der organischen Verbindung selbst, mit dem Kohlenstoff und zum Theil auch mit dem Wasserstoff und Stickstoff, desgleichen der Wasserstoff der organischen Verbindung mit dem Kohlenstoff und mit dem Stickstoff derselben, sich vereinigt, in unorganische Verbindungen, wie in Kohlensäure, Kohlenoxyd, Wasser, Salpetersäure, Kohlenwasserstoffgas, Ammoniak, desgleichen in einfache Stoffe, wie in Wasserstoffgas und Stickgas zerfallen. Geht eine solche Selbstentmischung organischer Körper rasch, unter Entwicklung übelriechender Dämpfe und Gase, vor sich, so wird sie *Fäulnifs* genannt, *Verwesung* oder *Vermoderung*, wenn sie langsamer erfolgt, *Gährung*, wenn sich zu einer gewissen Zeit nützliche Zwischenproducte, wie Weingeist und Essigsäure, in gröfserer Menge erzeugen.

G.

Fall der Körper.

Descensus s. lapsus corporum gravium; Chûte des corps graves; *Fall of gravitating bodies.*

Da die anziehende Kraft der Erde oder die Kraft der Schwere alle Körper gegen die Erde zu treibt, so üben sie, so lange sie unterstützt werden, einen Druck auf die Unterlage aus, und wenn sie nicht unterstützt werden, bewegen sie sich, jener Einwirkung gemäfs, gegen die Erde, sie *fallen.* Dieses Herabsinken der Körper gegen den Mittelpunct der Erde ist entweder ein *freies Fallen*, wenn der Körper der Einwirkung der Schwere ganz ungehindert folgen kann, oder ein *Fallen*

auf vorgeschriebenem Wege, wenn ein fester Widerstand ihn nöthigt, seine Annäherung zur Erde in einer andern, von der Richtung der Schwere abweichenden, Richtung zu vollenden.

Freier Fall der Körper.
(*descensus liber*, la chûte libre.)

1. Schon eine oberflächliche Erfahrung zeigt, dafs die Körper, wenn sie durch den Widerstand der Luft nicht zu sehr aufgehalten werden, mit immer gröfserer Geschwindigkeit fallen, je tiefer sie schon gefallen sind, dafs die Schwere also immer fort beschleunigend auf ihre Bewegung wirkt. Wiefern diese Einwirkung der Schwere auf alle Körper gleich oder verschieden sey, darüber geben die gewöhnlichen Erfahrungen nicht so unmittelbar Aufschlufs, indefs läfst sich doch durch Schlüsse wohl zu der Ueberzeugung gelangen, dafs die durch die Schwere ertheilte Geschwindigkeit bei ungleichen Massen gleich seyn mufs, wenn die Zeit der Einwirkung gleich ist. Denn wenn gleich die gröfsere Masse einen gröfsern Druck ausübt, und folglich durch die Schwere zum Falle angetrieben eine gröfsere *bewegende* Kraft zeigt, so ist dagegen auch die in Bewegung gesetzte Masse in eben dem Verhältnifs gröfser; oder mit andern Worten, niemand wird zweifeln, dafs zehn einzelne Pfunde gleich schnell fallen, und also auch nicht, dafs sie in eine Masse vereinigt noch eben so schnell fallen werden. Ob die verschiedenartigen Materien von der Erde mit ungleicher Gewalt angetrieben werden, sich herab zu bewegen, bliebe dabei freilich unentschieden; aber die Erfahrung spricht auch dagegen, indem theils der Versuch im luftleeren Raume ein gleiches Fallen der Feder und der Bleikugel zeigt, theils die Berechnung des Widerstandes der Luft über den langsamen Fall specifisch leichter Körper in der Luft vollkommen hinreichenden Aufschlufs giebt.

2. Ob die Schwere eine vollkommen *gleichförmig* beschleunigende Kraft ist, das heifst, ob sie dem Körper, er mag schon eine grofse Geschwindigkeit erlangt haben oder nicht, immer noch gleiche Vergröfserung der Geschwindigkeit ertheilt, läfst sich zwar aus theoretischen Gründen nicht voraussehen; aber da diese Hypothese die einfachste ist, und sich leicht übersehen läfst, dafs sie zu Gesetzen des Falles, die sich durch Erfahrung

prüfen lassen, hinführen wird, so ist es am natürlichsten, sie zum Grunde der Rechnung zu legen. Dieser Hypothese gemäfs nimmt die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten um gleich viel zu, und ist also, wenn im Anfange die Geschwindigkeit $= 0$ war, der Zeit $= t$ proportional, also $= kt$, wo k offenbar die Geschwindigkeit bedeutet, welche der Körper am Ende des ersten, als Einheit angenommenen Zeittheils z. B. der Secunde erlangt. Aus diesem Gesetze, dafs die Geschwindigkeit am Ende der zweiten Secunde doppelt so grofs, am Ende der dritten Secunde dreimal so grofs, als am Ende der ersten Secunde ist, läfst sich leicht der in irgend einer Zeit durchgelaufene Raum bestimmen. Denn gesetzt, die Geschwindigkeit, die am Anfang der ersten Secunde $= 0$ war, sey am Ende der ersten Secunde $= 30$ Fufs, so ist es so gut, als ob der Körper sich die ganze Secunde durch mit der mittlern Geschwindigkeit $= 15$ fortbewegt hätte. Ist die Geschwindigkeit am Anfange der zweiten Secunde $= 30$ Fufs, am Ende derselben $= 60$ Fufs, so ist 45 der Raum, durch welchen der Körper wirklich in dieser Secunde fällt. Eben so sind 60 und 90 die Geschwindigkeiten am Anfange und am Ende der dritten Secunde, und 75 Fufs der Fallraum in dieser Secunde. Diese Voraussetzung, dafs der gleichförmig beschleunigte Körper genau so weit fortgehe, als es dem arithmetischen Mittel zwischen der Anfangs- und Endgeschwindigkeit gemäfs ist, läfst sich leicht als strenge richtig nachweisen. Denn da, wenn man die Secunde in hundert Theile theilt, am Ende des funfzigsten Hunderttels die Geschwindigkeit $= \frac{1}{2} k$ ist, wenn sie am Ende der ganzen Secunde $= k$ wird, da sie am Ende des 49sten Hunderttels $= \frac{1}{2} k - \frac{1}{100} k$ und am Ende des 51sten Hunderttels $= \frac{1}{2} k + \frac{1}{100} k$ ist, so erhellet leicht, dafs $\frac{1}{2} k$ die richtige Geschwindigkeit für das 50ste und 51ste Hunderttel, aber eben so gut auch für das 49ste, 50ste, 51ste und 52ste Hunderttel ist, und so für die ganze Secunde als richtig nachgewiesen werden kann.

3. Diese einem jeden verständliche Erörterung läfst sich rechnend weit kürzer fassen. Ist die Zunahme der Geschwindigkeit $= dv$ während der Zeit $= dt$ dieser Zeit proportional, also $dv = k dt$, wo k einen beständigen Factor bedeutet, so ist $v = kt + c$, die am Ende der Zeit $= t$ erlangte Geschwindigkeit, und diese Gleichung ist nun auf alle Umstände passend, weil bei der Integration die unbestimmte beständige Gröfse c bei-

gefügt ist. Diese ist $=0$, wenn der Körper ohne alle anfängliche Bewegung zu fallen anfing; sie ist positiv, wenn dem Körper schon im ersten Augenblicke eine Geschwindigkeit nach der Richtung, nach welcher die Schwere wirkt, ertheilt wurde; sie ist negativ, wenn im Anfange der Zeit t der Körper eine Geschwindigkeit, der Richtung der Schwere entgegengesetzt, hatte. Da nun die Zunahme $= ds$ des durchlaufenen Weges $= s$ der Geschwindigkeit v und den Zeittheilchen $= dt$, in welchen ds durchlaufen wird, proportional, d. h. $ds = v\,dt = k\,t\,dt + c\,dt$ ist, so wird $s = \frac{1}{2} k t^2 + c t + \text{Const.}$, wo aber die neue hinzukommende Constante $= 0$ gesetzt wird, wenn man den Weg des Körpers von da an rechnet, wo dieser sich befand, als $t = 0$ war.

4. Betrachten wir hier zuerst den Fall, da die anfängliche Geschwindigkeit $c = 0$ war, so ist $s = \frac{1}{2} k t^2$, oder wenn $\frac{1}{2} k = g$, $s = g t^2$ und g bedeutet den durchlaufenen Fallraum in der ersten Zeiteinheit, weil für $t = 1$, $s = g$ aus der Formel folgt. *Der Fallraum ist also dem Quadrate der Zeit proportional.* Eine Folgerung, die sich schon aus der einfachen Betrachtung in No. 2 ergiebt; denn da dort der Fallraum in der ersten Secunde oder im Allgemeinen in der ersten Zeiteinheit $= \frac{1}{2} k$; in der zweiten $= \frac{3}{2} k$, in der dritten $= \frac{5}{2} k$, in der vierten $= \frac{7}{2} k$, u. s. w. ist, so ist der Weg in 1 Secunde, die wir als Zeiteinheit beibehalten wollen, $= \frac{1}{2} k$; in den 2 ersten Secunden $= \frac{4}{2} k$; in den 3 ersten Secunden $= \frac{9}{2} k$; in den 4 ersten Secunden $= \frac{16}{2} k$; u. s. w. welches offenbar Räume, den Quadraten der Zeiten proportional, sind, die nach eben dem Gesetze auch ferner fortschreitend gefunden werden könnten. Die beiden Formeln $s = g t^2$, $v = k t = 2 g t$ enthalten die ganze Theorie der ohne Anfangsgeschwindigkeit gleichförmig beschleunigten Bewegung. Aus ihnen folgt, weil $t = \sqrt{\frac{s}{g}}$ ist,

$v^2 = 4 g s$ oder $s = \frac{v^2}{4g}$. Die erlangte Geschwindigkeit ist also der Quadratwurzel aus dem durchlaufenen Wege proportional, so dafs sie, wenn der Körper im Falle die vierfache Tiefe erreicht hat, doppelt so grofs ist, als sie war, indem er die einfache Tiefe erreichte. Da die erlangte Geschwindigkeit $= v = 2\sqrt{g s}$ durch den Fallraum vollkommen bestimmt ist, so nennt man diesen Fallraum auch: *die der Geschwindigkeit* v

zugehörige Höhe. Tafeln dafür finden sich den meisten Logarithmentafeln beigefügt.

5. Die Gröſse g muſs durch Erfahrung bestimmt werden, und dazu könnten Versuche über den Fall bleierner Kugeln allenfalls dienen, indem ein genau abgemessener Fallraum und die mit Hülfe einer Tertienuhr bestimmte Fallzeit zusammengehörige Werthe von s und t angäben, mit deren Hülfe g bestimmt würde; Versuche über den Fall aus *ungleichen* Höhen würden zugleich entscheiden, ob das hypothetisch der Rechnung zum Grunde gelegte Gesetz das richtige sey[1]. Indeſs bedürfen wir dieser Bestimmung für den Werth von g nicht, da Pendelversuche ihn viel genauer geben.

6. Wenn der vertical herabwärts bewegte Körper schon eine anfängliche Geschwindigkeit $= c$ hatte, so ist nach Verlauf der Zeit $= t$ die Geschwindigkeit um eben so viel gröſser geworden, als bei einem ohne Anfangsgeschwindigkeit begonnenen Falle, und der Fallraum ist so groſs, wie er seyn würde, wenn die beiden Wege, die der Anfangsgeschwindigkeit allein, und dem freien der Schwere gemäſsen Falle allein entsprächen, zusammen genommen würden. Jener ist $= ct$, dieser $= gt^2$.

Man könnte auch hier auf ganz populäre Weise die erlangte Geschwindigkeit und den durchlaufenen Raum bestimmen. Es sey z. B. die Anfangsgeschwindigkeit so groſs, daſs sie allein den Körper durch 100 Fuſs in der Secunde treiben würde, und sie nehme, vermöge der Einwirkung der Schwere um 30 Fuſs in der ersten Secunde zu, so ist

Anfangsgeschwindigkeit in dieser Secunde = 100 Fuſs,
Endgeschwindigkeit = 130 —
mittlere Geschwindigkeit = 115 —

und dieses ist zugleich der in der ersten Secunde durchlaufene Weg. Ferner in der zweiten Secunde nimmt abermals die Geschwindigkeit um 30 Fuſs zu, also

Anfangsgeschwindigkeit in der 2ten Secunde = 130 Fuſs,
Endgeschwindigkeit = 160 —
mittlere Geschwindigkeit = 145 —

---

1 Benzenberg's Versuche (Versuche über das Gesetz des Falles, die Umdrehung der Erde u. s. w. S. 196.) könnten, selbst wenn man den Widerstand der Luft nicht beachtete, beides ziemlich nahe bestimmen.

und dieses ist der Weg in der zweiten Secunde, also in den 2 ersten Secunden zusammen $= 115 + 145 = 260$ Fuſs, welches die 200 Fuſs wegen der Anfangsgeschwindigkeit in 2 Secunden, und die 60 Fuſs wegen der Falltiefe in 2 Secunden sind, und so für jede folgende Secunde.

7. Wurde der Körper vertical aufwärts geworfen, so ist c negativ und sein herabwärts durchlaufener Weg vom Anfange der Zeit $= t$ an, ist

$$s = gt^2 - ct; \text{ seine Geschwindigkeit } v = 2gt - c.$$

So lange hier t einen geringen Werth hat, ist der durchlaufene Weg negativ, also ein aufwärts durchlaufener, und auch die Geschwindigkeit negativ oder eine aufwärts gerichtete. Sobald die Zeit so groſs geworden ist, daſs $2gt = c$, oder $t = \frac{c}{2g}$, ist die Geschwindigkeit $= 0$, der Körper hört auf zu steigen, und hat dann den Weg $= g. \frac{c^2}{4g^2} - \frac{c^2}{2g} = - \frac{c^2}{4g}$, zurückgelegt. Er bedarf nun einer eben so langen Zeit, um herabzufallen, denn nach der doppelten Zeit ist sein durchlaufener Weg $= 0$, oder er ist zu dem Puncte, von dem er ausging, zurückgekehrt, nämlich wenn $t = \frac{c}{g}$ ist. Alsdann hat er die Geschwindigkeit $= 2g. \frac{c}{g} - c = + c$ erlangt, und erreicht also den Punct mit eben der herabwärts gehenden Geschwindigkeit, mit welcher er hinaufwärts geworfen worden war.

In jeden Punct seines Weges gelangt er auf gleiche Weise beim Herabfallen mit eben der Geschwindigkeit, die er im Aufsteigen eben dort hatte. Denn damit s einen bestimmten Werth hinaufwärts $= - s'$ erreiche, muſs $- s' = gt^2 - ct$, also

$$t = \frac{c}{2g} \pm \frac{\sqrt{(c^2 - 4gs')}}{2g}$$

seyn, und nach Verlauf dieser Zeit ist die Geschwindigkeit

$$v = 2gt - c = \pm \sqrt{(c^2 - 4gs')},$$

im Steigen eine eben so groſse negative, als sie im Fallen positiv ist.

Die Differentialgleichung ergiebt den gröſsten Werth, welchen s erlangen kann, indem man aus $s = gt^2 - ct$ erhält

$ds = (2gt - c)\,dt$, welches für $t = \frac{c}{2g}$ verschwindet, und dann $s = \frac{c^2}{4g} - \frac{c^2}{2g} = -\frac{c^2}{4g}$ giebt.

8. Die Erfahrung hat gezeigt, dafs die Körper nicht an allen Orten der Erde gleich schnell herabfallen, und die Theorie giebt den Grund an, warum die Rotation der Erde die Schwerkraft unter dem Aequator mehr, als in andern Puncten der Erdoberfläche schwächt; g hat also selbst nahe an der Oberfläche der Erde nicht einen völlig constanten Werth, sondern hängt von der geographischen Breite ab. Die genauere Untersuchung über die strenge Bestimmung dieses Werthes gehört in den Art. *Pendellänge;* ich bemerke daher nur, dafs nach einer sehr sorgfältigen Reihe von Beobachtungen von Biot, Kater, Hall und Sabine folgendes hervorgeht[1].

Die Länge des Secundenpendels ist unter dem Aequator an der Oberfläche des Meeres

= 39,01520 engl. Zolle[2]
= 0,990864 Meter
= 36,60385 Paris. Zolle.

In andern Breiten nimmt die Pendellänge so zu, dafs man, wenn jene Länge = l heifst, an jedem Orte an der Meeresfläche die Pendellänge $= l. [1 + 0{,}00519.\ \text{Sin.}^2\varphi]$ findet, wenn φ die geographische Breite ist.

Aus der Theorie des Pendels läfst sich beweisen[3], dafs die Fallhöhe = g, in der ersten Secunde $= \frac{1}{2} l.\ \pi^2 = \frac{1}{2} l.\ 9{,}869605$ also am Aequator = 16,0443 engl. Fufs,
= 15,0527 Par. —
in 45 Grad Breite
= 16,08596 engl. Fufs
= 15,09176 Paris. — ist.

9. Die bisherigen Betrachtungen setzten voraus, dafs die Schwerkraft oder die Attraction der Erde unveränderlich sey,

1 Philos. Transact. for 1823. p. 211. 308. 1818. p. 33. 103. 1821. 163. Journal de Physique. 1820. Janvier. Vorzüglich aber An Account of Experim. to determine the figure of the Earth by means of the pendulum etc. by Sabine. London 1825.

2 Galbraith will dafür lieber 39,0126 setzen. Philos. Magazin. 67. p. 161.

3 Vergl. unten No. 13.

während der Körper sich der Erde nähert, und diese Voraussetzung ist ohne merkliche Fehler richtig, wenn der fallende Körper nur so groſse Räume durchläuft, wie es bei unsern Beobachtungen auf der Erde vorkommt. Wenn dagegen der Körper sich von sehr groſsen Höhen herab zur Erde bewegte, so müſste man Rücksicht darauf nehmen, daſs die Bewegung des Körpers, indem er dem anziehenden Körper näher kommt, stärker beschleunigt wird. Ich sehe hier die Erde als eine Kugel vom Halbmesser $= r$ an, und nehmen an, der Körper befinde sich in der Entfernung $= x$ vom Mittelpuncte der Erde; dann ist, nach den Gesetzen der anziehenden Kräfte, in dieser Entfernung die auf ihn wirkende beschleunigende Kraft $= \frac{r^2}{x^2}$, wenn sie $= 1$ ist an der Oberfläche der Erde; und wenn g der in einer Secunde an der Oberfläche der Erde durchlaufene Weg frei fallender Körper ist, so hat man

$$dv = + 2g. \frac{r^2}{x^2} dt$$

und $v\,dv = - 2g \frac{r^2\,dx}{x^2}$, weil hier $v = -\frac{dx}{dt}$ positiv für abnehmende x ist.

Die Integration giebt

$$v^2 - c^2 = 4gr^2 \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a}\right),$$

wenn die Bewegung in der Entfernung $x = a$ vom Mittelpuncte der Erde mit der Geschwindigkeit $= c$ anfing. Der Körper erreicht also die Oberfläche der Erde mit der Geschwindigkeit

$$v' - = \sqrt{\left\{c^2 + 4gr^2 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{a}\right)\right\}}.$$

Da $v = \pm \sqrt{\left\{c^2 + \frac{4gr^2(a-x)}{ax}\right\}}$, so erhellet, daſs in der Entfernung $= x$ die Geschwindigkeit einen eben so groſsen positiven Werth erhält, wenn der aufwärts steigende Körper in der Entfernung $= a$ die Geschwindigkeit $= c$ erlangen soll, als der negative Werth ist, wenn er in eben der Entfernung die Geschwindigkeit $= c$ hatte und von da seine Bewegung anfing. Wenn der Körper keine anfängliche Geschwindigkeit hatte, oder $c = 0$ war, ist allgemein

$$v = \pm \sqrt{\left\{4gr^2 \left(\frac{a-x}{ax}\right)\right\}}.$$

Um die Zeit des Falles zu bestimmen, muſs man die Gleichung

$$dt = \frac{-dx}{v} = \frac{-dx}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}.\sqrt{\frac{x}{a-x}}$$

integriren. Man gelangt dazu am kürzesten, wenn man

$$\frac{-x\,dx}{\sqrt{(ax-x^2)}} = d.\sqrt{(ax-x^2)} - \frac{\frac{1}{2}a\,dx}{\sqrt{(ax-x^2)}}$$

setzt, wo dann

$$t = C + \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}\left\{\sqrt{(ax-x^2)} - \tfrac{1}{2}a\int\frac{dx}{\sqrt{(ax-x^2)}}\right\}$$

oder $t = C + \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}\left\{\sqrt{(ax-x^2)} - \tfrac{1}{2}a\int\frac{dx}{\sqrt{(\frac{1}{4}a^2-(\frac{1}{2}a-x)^2)}}\right\}$

$$t = C + \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}.\left\{\sqrt{(ax-x^2)} - \tfrac{1}{2}a\,\text{Arc. Cos.}\frac{a-2x}{a}\right\},$$

welches, wenn $t=0$ für $x=a$, war in

$$t = \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}\left\{\sqrt{(ax-x^2)} + \tfrac{1}{2}a\,\text{Arc. Cos.}\,\frac{2x-a}{a}\right\}$$

übergeht, weil $C = \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}.\,\tfrac{1}{2}a\pi$,

aber $\pi - \text{Arc. Cos.}\,\frac{a-2x}{a} = +\,\text{Arc. Cos.}\frac{2x-a}{a}$, ist.

Wenn der Körper auf der Oberfläche der Erde ankommt, ist

$$t = \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{a}{g}}\left\{\sqrt{(ar-r^2)} + \tfrac{1}{2}a\,\text{Arc. Cos.}\,\frac{2r-a}{a}\right\}.$$

Man hat gefragt, wann und mit welcher Geschwindigkeit der Körper im Mittelpuncte der anziehenden Kraft ankomme. In physikalischer Beziehung ist diese Frage eine ganz unnütze, da es keine Puncte sind; die eine endliche anziehende Kraft ausüben, und bei Körpern das Gesetz der Attraction im Innern des Körpers ein andres wird. Will man bloſs zur Uebung in der Analysis die Frage beantworten, so wird erstlich für $x=0$

$$t = \frac{a}{4r}\sqrt{\frac{a}{g}}\,.\,\text{Arc. Cos.} -1 = \frac{\pi a\sqrt{a}}{4r\sqrt{g}};$$

v aber wird

$$= 2r\sqrt{\frac{g}{a}}\,.\sqrt{\frac{a}{x}},$$ also unendlich, weil $x=0$ ist.

Die Frage, wie der Körper seine Bewegung über den Mittelpunct hinaus fortsetze, läſst sich aus der Formel nicht beantworten, aber eine leichte Ueberlegung über die Natur der Sache beantwortet sie. Da nämlich, wie oben erwähnt ist, der

sich vom Mittelpuncte entfernende Körper genau eben so seine Geschwindigkeit verliert, wie der sich nähernde Körper an Geschwindigkeit gewinnt, so mufs auch der durch den Mittelpunct hindurch gehende Körper in irgend einer Entfernung $= x$ wieder eben die Geschwindigkeit haben, die er vorher in der Entfernung $= x$ hatte, die unendliche Kraft gab ihm die unendliche Geschwindigkeit und zerstört sie auch wieder. Die Frage, wie er seine Bewegung fortsetze, ist damit völlig beantwortet. Die Formel kann sie darum nicht auflösen, weil $\frac{r^2}{x^2}$ als eine beschleunigende Kraft erscheint sowohl für positive, als für negative x, und daher die Formel nicht mehr anwendbar bleibt über den anziehenden Punct hinaus. Wenn die beschleunigende Kraft auch jenseits des Mittelpunctes noch beschleunigend bliebe, nicht verzögernd würde, so müfste der schon im Mittelpuncte erlangte unendlichen Geschwindigkeit noch etwas hinzugefügt werden, und da so etwas durch keine Formel ausgedrückt werden kann, so weiset die Formel durch ihr Unmöglichwerden die weitere Betrachtung der Bewegung zurück. Busse's Bemühung, die Analysis hier so zu behandeln, dafs sie ihre Anwendbarkeit auch jenseits des Mittelpuncts zeige, verdient zwar recht viel Lob als achtungswerthe *Bemühung*; aber der Zweck scheint damit doch nicht erreicht zu seyn. Denn wenn man sogleich mit der Formel

$$\frac{dv}{2g\,dt} = \mp \left(\frac{r}{x}\right)^2 \begin{matrix}\text{diesseits}\\ \text{jenseits}\end{matrix}$$

anfängt, so thut man doch in der That nichts anders, als dafs man die Betrachtung sogleich mit derjenigen Rücksicht doppelt führt, die Busse als eine petitio principii[1] den übrigen Mathematikern vorwirft. Mir scheint das, was Mollweide hierüber sagt[2], ganz richtig.

10. Die Frage kommt in der Wirklichkeit gar nicht vor, sondern sobald der fallende Körper in das Innere des anziehenden Körpers (auch ohne Widerstand) eindringt, ist die anziehende Kraft vermindert und bei Kugeln dem Abstande vom Mittelpuncte direct proportional, also im Mittelpuncte selbst $= 0$.

Es sey die beschleunigende Kraft an der Oberfläche der

---

1 Gilb. Ann. LXX, 413.

2 Gilb. Ann. LXX, 425.

Erde $= 1$, der Fallraum in der ersten Secunde $= g$, der Halbmesser der Erde $= r$, der veränderliche Abstand des fallenden Körpers vom Mittelpuncte $= x$, so ist im Innern der Erde

$$dv = 2g\,dt.\,\frac{x}{r},$$

$$v\,dv = -\frac{2g\;x\,dx}{r},$$

$$v^2 = c^2 - \frac{2gx^2}{r} + 2gr,$$

wenn die Geschwindigkeit $= c$ war für $x = r$, und dem gemäfs die Constante bei der Integration schon bestimmt ist. Ich will $c = 0$ setzen und also

$$v = \sqrt{\frac{2g}{r}}.\sqrt{(r^2 - x^2)},$$

$$dt = \frac{-dx}{\sqrt{(r^2 - x^2)}}\sqrt{\frac{r}{2g}}.$$

$$t = \sqrt{\frac{r}{2g}}\left\{C + \text{Arc. Cos.}\,\frac{x}{r}\right\}$$

wo die Const. $= 0$ ist, wenn im Anfange der Zeit t, der Werth von $x = r$ war.

Die Geschwindigkeit im Centro der Erde ist also $= \sqrt{2gr}$, und die Zeit des Falles von der Oberfläche bis zum Mittelpuncte $= \frac{1}{2}\pi\sqrt{\frac{r}{2g}}$. Hier ist also alles leicht verständlich und der Natur der Sache gemäfs.

11. Ich habe bisher immer die Richtung des Falles als gegen den Mittelpunct der Erde gerichtet angesehen; aber dieses ist sie jedoch nur auf der Kugel, nicht auf der sphäroidischen Erde. Es sey der Halbmesser des Aequators $= a$, die halbe Erdaxe $= b$, die geographische Breite des Ortes $= \varphi$, der Halbmesser der Erde an dieser Stelle $= r$, so trifft die Richtungslinie des freien Falles, (welche nämlich mit der Normallinie des Sphäroids zusammenfällt,) die Ebene des Aequators in einer Entfernung $= r\,\text{Cos.}\,\varphi. - \frac{b^2 r\,\text{Cos.}\,\varphi}{a^2}$, vom Centro der Erde. Der Winkel $= \omega$, den die Normallinie mit dem Radius einschliefst, ist durch $\text{Sin.}\,\omega = \frac{r.\,\text{Cos.}\,\varphi.\,(a^2 - b^2)}{a^2.\,r}\;\text{Sin.}\,(\varphi + \omega)$

gegeben, also hier, wo höhere Potenzen von Sin. ω ganz unbedeutend sind,

$$\text{Sin.}\,\omega = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2}\,(\text{Sin.}\,\varphi.\ \text{Cos.}\,\varphi + \text{Cos.}^2\,\varphi.\ \text{Sin.}\,\omega)$$

$$\text{Sin.}\,\omega = \frac{(a^2 - b^2)\ \text{Sin.}\,\varphi.\ \text{Cos.}\,\varphi}{a^2\ \text{Sin.}^2\varphi + b^2\ \text{Cos.}^2\varphi},$$

ein Ausdruck, der unter 45 Gr. Breite Sin. $\omega = \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2}$, also für $b = \frac{288}{289}$, Sin. $\omega = 0{,}00347 = 0^\circ.\ 12'$. giebt. Am Pole und auf dem Aequator fällt die Normallinie mit der nach dem Mittelpuncte gehenden genau zusammen. Wollte man im Innern der Erde der Richtung der Schwere immer folgen, so müſste man eine krumme Linie, nämlich die rechtwinkliche Trajectorie der elliptischen Gleichgewichtsschichten, verfolgen[1].

Geschichte der Bestimmung dieser Gesetze.

12. Aristoteles und seine Nachfolger glaubten, die schweren Körper fielen im Verhältniſs ihres Gewichtes schneller, also ein Körper von 10 ℔ zehnmal so schnell als ein Körper von 1 ℔ Gewicht. Dieser leicht zu widerlegende Irrthum erhielt sich dennoch, weil man keine Versuche anstellte, im Ansehen, bis Galilei theils durch eigene Versuche, theils durch Schlüsse, die Unrichtigkeit jener Behauptung zeigte. Er lieſs nämlich Körper von ungleichen Gewichten aus sehr beträchtlicher Höhe herabfallen, und fand, daſs sie fast gleichzeitig den Boden erreichten.

Ueber das Gesetz der Beschleunigung war man vor Galilei eben so wenig unterrichtet. Die Meinung, daſs die Geschwindigkeit dem schon durchlaufenen Wege proportional sey, hatte selbst Galilei lange Zeit als wahrscheinlich angesehen, obgleich eine gar nicht schwierige Ueberlegung zeigt, daſs dieses Gesetz eine Unmöglichkeit in sich schlieſst, indem danach der Körper, wenn er noch garkeinen Raum durchlaufen hat, weder Geschwindigkeit haben, noch Geschwindigkeit erlangen kann, und folglich unverrückt an demselben Orte bliebe. Galilei

1 Eulers Gesetze des Gleichgew. flüss. Körper, übersetzt von Brandes. S. 111.

kam zuerst auf den Gedanken, daſs die Geschwindigkeit vielleicht der Zeit des Falles proportional seyn könne; aus diesem Hauptgesetze bestimmte er die übrigen Gesetze des Falles, die er dann mit der Erfahrung verglich und dieser entsprechend fand. Er trug diese schon im J. 1602 entdeckten Gesetze in seinen Gesprächen über die Bewegung[1] vor und legte so den Grund zu unserer ganzen neueren Mechanik. Seine Theorie fand viele Gegner, obgleich auch Torricelli sie mit vorzüglicher Eleganz entwickelte[2], und selbst Baliani, obgleich er des Galilei Theorie als die richtige vorträgt, äuſserte dennoch, es sey doch auch möglich, daſs sich die Geschwindigkeiten, wie die durchlaufenen Räume verhielten[3]. Diese Aeuſseruug faſsten die Gegner auf und gaben dem eben angeführten Satze den Namen der *Hypothese* des Baliani. Der Streit über diese Hypothese und ihre Widerlegung durch Gassendi und Fermat hat für unsere Zeiten keine Wichtigkeit mehr, da die Richtigkeit der Theorie längst anerkannt ist.

Galilei selbst stellte Versuche an, um die Richtigkeit der gefundenen Gesetze des Falles zu beweisen. Er lieſs in einem 12 Ellen langen, ½ Elle hohen, 3 Zoll breiten Balken einen Canal aushöhlen, den er mit Pergament belegte, um ihn desto glatter zu machen. Diesen Balken konnte er am einen Ende mehr oder minder heben und indem er nun die Zeit beobachtete, welche eine glatte messingene Kugel gebrauchte, um gewisse Räume zu durchlaufen, fand er, daſs diese Räume den Quadraten der Zeiten proportional waren. Riccioli und Grimaldi suchten ebenfalls die Theorie durch Versuche zu bestätigen. Ihre wichtigsten Versuche stellten sie auf dem Thurme degli Asinelli in Bologna an[4], wo sie eine Fallhöhe von 280 Fuſs hatten; aber auch von andern Thürmen lieſsen sie Kugeln fallen, und beobachteten die Zeit mit einem Pendel, welches Sechstel-Secunden schlug. Die beobachteten Zeiten stimmten völlig mit

---

1 Discorsi e dimostraz. matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecanica ed i movimenti locali. Leid. 1638. und in den Opere di Galileo Galilei, Firenze. 1718. Tomo 2. p. 479. 585.

2 De motu gravium naturaliter descendentium et projectorum. Flor. 1641.

3 De motu gravium solidorum et fluidorum. Genuae. 1646.

4 Vergl. Benzenberg. S. 82. Riccioli Almag. Nov. Lib. II., Cap. 21.

dem *Galilei'schen Gesetze* überein, und sie sahen dieses dadurch als völlig bestätigt an, obgleich allerdings ihre Versuche nicht so genau angestellt wurden, dafs kleine Unterschiede ihnen merklich werden konnten.

Aehnliche Versuche stellte DECHALES an[1], theils indem er die Fallzeit für Steine, die er in einen Brunnen fallen liefs, beobachtete, theils indem er den genauen Fallraum der Körper während eines halben Pendelschlages verschiedener Pendel beobachtete. Er machte z. B. die Einrichtung, dafs ein Pendel von 3 Fufs Länge in seinem tiefsten Puncte an ein aufrecht stehendes Brett traf, und liefs nun in demselben Augenblick eine Kugel frei fallen, da er das Pendel losliefs; er fand, dafs die Kugel 4½ Fufs tief fallen mufste, um mit dem Anschlagen des Pendels gleichzeitig den Boden zu erreichen. Die in unsern Zeiten von BENZENBERG angestellten Versuche hatten zwar nicht mehr den Zweck, das Gesetz des Falles zu bestimmen oder die Gröfse des Fallraums in der ersten Secunde zu entdecken; aber sie verdienen wegen ihrer Genauigkeit und der grofsen Sorgfalt, mit welcher alle Umstände berücksichtigt sind, hier erwähnt zu werden. Sie sind die vollkommensten, die man je über diesen Gegenstand angestellt hat.

Uebrigens hat man schon seit langer Zeit andere Mittel kennen gelernt, um sich von der Richtigkeit der Theorie zu überzeugen. Es wird nachher gezeigt werden, dafs die Zeit der Pendelschwingungen bei gegebener Länge des Pendels ein Mittel abgiebt, um den Werth der Gröfse g, oder um den Fallraum in der ersten Secunde zu bestimmen, und dafs das Verhältnifs der Zeiten für Schwingungen ungleich langer Pendel, welches in der Erfahrung so gefunden wird, wie es die Theorie fordert, eine vollkommene Bestätigung der Hauptgesetze der Bewegung fallender Körper darbietet. Will man sich durch unmittelbare Versuche von der Richtigkeit der Gesetze des Falles überzeugen, so kann man sich der Versuche auf der schiefen Ebene (No. 14) oder der Versuche mit der Fallmaschine bedienen[2].

Eine sinnreiche Art, das Gesetz, dafs die Fallräume den Quadraten der Zeiten proportional sind, zu beweisen, hat SE-

---

1 Cursus mathematicus. Tom. II. Stat. Lib. II. propos. I. II.

2 S. diesen Artikel.

BASTIEN schon 1699 angegeben[1]. Auf der Fläche des parabolischen Konoids ABD, welches durch die Umdrehung der Parabel ADC um die Axe AC entstanden ist, werde ein schraubenartig fortlaufender Gang AEFGHI ausgehöhlt, der in jedem Puncte unter gleichem Winkel gegen den Horizont geneigt ist: so läſst sich aus der Theorie erweisen (vergl. No. 13), daſs der in diesem Gange hinablaufende Körper immer die Geschwindigkeit hat, die seinem freien Falle bei gleicher verticaler Tiefe angemessen wäre, daraus aber folgt, wie ich sogleich zeigen will, daſs jeder Umlauf um das Paraboloid in gleicher Zeit durchlaufen wird, und die Erfahrung ergiebt, daſs dies auch wirklich so erfolgt. Wenn man nämlich, indem eine vom Puncte A ausgehende Kugel in G ankömmt, eine zweite Kugel bei E fortrollen läſst, und wenn diese G erreicht, eine dritte in E nachsendet, so bleiben diese Kugeln immer gerade über einander. Daſs es so seyn muſs, läſst sich so beweisen. Es sey der Punct A, wo die Bewegung anfängt, im Scheitel selbst, eines andern unbestimmten Punctes X Abscisse $= x$: so ist da, wo der letztere liegt, des Paraboloides Halbmesser $y = \sqrt{px}$, wenn p den Parameter bedeutet. Der ausgehöhlte Gang sey unter dem Winkel $= \alpha$ gegen den Horizont geneigt, so ist ein mit dem horizontalen Winkel $= d\varphi$ zusammen gehöriges Stück dieses Ganges $= ds = \frac{y \cdot d\varphi}{\text{Cos. } \alpha}$, wenn der Halbmesser des durch X gezogenen Kreises $= y$ ist, oder $ds = \frac{d\varphi}{\text{Cos. } \alpha} \sqrt{px}$. Nun aber wird nachher gezeigt, daſs die Geschwindigkeit eben diejenige ist, die ein von der Höhe $= x$, (dem verticalen Höhenunterschiede der Puncte A und X) frei herabfallender Körper erreichen würde, also $v = \sqrt{4gx}$, und folglich wird der Weg ds in der Zeit $dt = \frac{ds}{v} = \frac{ds}{\sqrt{4gx}} = \frac{d\varphi \cdot \sqrt{px}}{\text{Cos. } \alpha \cdot \sqrt{4gx}}$,

$dt = \frac{d\varphi}{\text{Cos. } \alpha} \sqrt{\frac{p}{4g}}$ durchlaufen, und die Zeit t ist also $= \frac{\varphi}{\text{Cos. } \alpha} \sqrt{\frac{p}{4g}}$ dem horizontalen Winkel φ proportional so

Fig. 1.

---

1 Mém. de l'acad. des sciences pour 1699.

dafs die ganzen Umläufe, ihr Halbmesser sey grofs oder klein, in gleichen Zeiten vollendet werden.

Fall der Körper auf vorgeschriebenen Wegen.

Fig. 2.

13. Wenn der der Wirkung der Schwere ausgesetzte Körper A sich auf einer gegen den Horizont geneigten Unterlage befindet, so wirkt nicht die volle Kraft der Schwere auf seine Fortbewegung und er fällt daher, selbst wenn alle andere Widerstände unbeachtet bleiben, minder schnell, als im ganz freien Falle. Es sey DE, die Tangente der krummen Linie, auf welcher A sich fortbewegen soll, an dem Puncte B, wo er sich gerade befindet, unter dem Winkel φ gegen den Horizont geneigt, so mufs man die Schwerkraft, die durch BF dargestellt werde, in zwei Seitenkräfte BG, BH zerlegen, von denen nur die erste $=$ BF. Sin. φ die Bewegung des Körpers A beschleuniget, die zweite BH aber durch den unüberwindlichen Widerstand der Curve verschwindet. Da nun die Schwere den Körper in der ersten Secunde durch den Raum $=$ g treibt, wenn der Körper ihr frei folgen kann, und die nach BG wirkende Kraft sich zur frei wirkenden Schwere verhält, wie Sin. $\varphi : 1$, so wird die nach BG wirkende Kraft ihn nur durch den Raum $=$ g. Sin. φ in der ersten Secunde treiben, oder die Hauptgleichungen für die Bewegung werden hier

$$dv = 2g\,dt.\,\text{Sin.}\,\varphi;\ ds = v\,dt$$

seyn, wie sich aus No. 3 leicht übersehen läfst, wenn dv die Zunahme der Geschwindigkeit in der Zeit $=$ dt, und ds den in der Zeit $=$ dt durchlaufenen Raum bezeichnet. Nennt man x die verticale Tiefe des Punctes B unter demjenigen Anfangspuncte, von welchem an die Bogen s gerechnet werden, so ist

$\text{Sin.}\,\varphi = \frac{dx}{ds}$, und folglich, da $dt = \frac{ds}{v}$ ist,

$$dv = 2g.\frac{ds}{v}\cdot\frac{dx}{ds},$$

$$v\,dv = 2g\,dx,$$

und durch Integration $v^2 = 4gx$. Es ergiebt sich also der wichtige Satz: *dafs die Geschwindigkeit beim Falle auf irgend einem vorgeschriebenen Wege in* jedem Puncte eben so grofs ist,

als sie seyn würde, wenn der Körper im freien Falle von dem Puncte, wo seine Bewegung mit der Geschwindigkeit $= 0$ anfing, eben so tief herab gefallen wäre; oder, wenn der Körper A in K ohne Anfangsgeschwindigkeit zu fallen anfing, so ist in B seine Geschwindigkeit gleich der der verticalen Tiefe des Punctes B unter K entsprechenden Geschwindigkeit.

Die Formel $v\,dv = 2g\,dx$ ist noch allgemeiner, da sie $v^2 = 4gx +$ Const. giebt. War also da, wo $x = 0$ ist, $v = c$, so hat man $v^2 = c^2 + 4gx$, das ist: auch, wenn der Körper in K eine Anfangsgeschwindigkeit hatte, so hat doch in B das Quadrat seiner Geschwindigkeit um soviel zugenommen, als der verticalen Tiefe gemäſs ist. Körper also, die auf verschiedenen Wegen herabfallen, und in einer gewissen Horizontallinie KL gleiche Geschwindigkeit hatten, kommen in jeder andern Horizontallinie MN mit gleichen Geschwindigkeiten an, obgleich der eine L diese Horizontallinie später, der andere K sie früher erreicht, wegen der ungleichen Wege LM, KN. Fig. 3.

14. Die geneigte Ebene giebt das einfachste Beispiel. Hier ist Sin. φ unveränderlich, also $v = 2gt.\ \text{Sin.}\ \varphi + c$, wenn die Anfangsgeschwindigkeit $= c$ war, und

$$s = gt^2\ \text{Sin.}\ \varphi + ct.$$

Für $c = 0$ ist $s = g.t^2.\ \text{Sin.}\ \varphi$, also der in bestimmter Zeit durchlaufene Weg desto kleiner, je kleiner die Neigung gegen die horizontale Ebene ist. Hierdurch hat man es daher in seiner Gewalt, die durch die Schwerkraft hervorgebrachte Bewegung so langsam zu erhalten, daſs sich die in bestimmten Zeiten durchlaufenen Wege bequem beobachten lassen, und deshalb bediente Galilei sich dieses Mittels, um seine Theorie zu prüfen.

15. Schon Galilei fand den merkwürdigen Satz[1], daſs die Fallzeit durch verschiedene, vom tiefsten Puncte eines Kreises ausgehende Sehnen, gleich ist. Es sey nämlich $AD = 2r$ der verticale Durchmesser eines Kreises, DM eine unter dem Winkel $MDE = \varphi$ gegen den Horizont geneigte, vom tiefsten Puncte ausgehende Sehne, so ist $DCM = 2\varphi$ und $DM = 2r.\ \text{Sin.}\ \varphi$. Da nun allemal (No. 13) der durchlaufene Fig. 4.

1 Opere di Galilei Tom. 2. p. 594.

Weg $= s = g t^2$ Sin. φ ist, so findet man die auf dem Wege $= 2r$ Sin. φ verwandte Zeit $= \sqrt{\frac{s}{g \text{ Sin. } \varphi}} = \sqrt{\frac{2r}{g}}$.

Diese Zeit ist folglich von der Länge und Neigung der Sehne unabhängig, und Körper, die auf AD, BD, MD herablaufend ihre Bewegung gleichzeitig in A, B, M anfangen, erreichen den Punct D in demselben Augenblicke. Selbst eine sehr kleine vom tiefsten Puncte D aus gezogene Sehne des Kreises wird in eben so langer Zeit durchlaufen, weil die beschleunigende Kraft, bei der geringen Neigung der Sehne, in eben dem Maſse geringer wird, in welchem die Sehne kürzer ist.

16. Wenn der Weg, den der Körper durchlaufen kann, eine krumme Linie ist, so lassen die Gleichungen

$$dv = 2g dt. \text{ Sin. } \varphi = 2g . dt . \frac{dx}{ds}$$

und $ds = v dt$,

in No. 13 sich nicht anders integriren, als wenn die Natur der Curve bekannt ist, oder x und s durch einander gegeben sind.

Fig. 5. Die krumme Linie sey ein Kreis, in welchem der Bogen s vom tiefsten Puncte an gerechnet wird: C sey der Mittelpunct, r der Halbmesser, und der Bogen $AX = s = r\varphi$, wenn $ACX = \varphi$ ist. Die Neigung der an X gezogenen Tangente ZX gegen die Horizontallinie AB ist $= \varphi = ACX$, also

$$dv = 2g dt. \text{ Sin. } \varphi,$$

und weil hier, wenn der Körper sich gegen A zu bewegt, $v dt = - ds = - r d\varphi$ ist,

$$2 v dv = 4 g v dt. \text{ Sin. } \varphi = - 4 g r d\varphi \text{ Sin. } \varphi,$$

oder $v^2 = \text{Const.} + 4 g r \text{ Cos. } \varphi$.

War also $v = 0$, als der Körper sich in D befand und war dort $ACD = \gamma$, so ist $v^2 = 4 g r (\text{Cos. } \varphi - \text{Cos. } \gamma.)$,

$= 4g. EF$, wenn DE, XF,

Horizontallinien durch die beiden Puncte D, X sind.

Hieraus sollte nun $t = \int \frac{ds}{v} = \int \frac{- d\varphi . \sqrt{r}}{\sqrt{[4g (\text{Cos. } \varphi - \text{Cos. } \gamma)]}}$

als Zeit des Falles durch DX gefunden werden, was aber allgemein nur durch Entwickelung einer Reihe möglich ist.

Wenn φ und γ beide so klein sind, daſs man

$$\text{Cos. } \varphi = 1 - \tfrac{1}{2}\varphi^2$$
$$\text{Cos. } \gamma = 1 - \tfrac{1}{2}\gamma^2$$

setzen darf, so wäre $dt = -d\varphi . \sqrt{\frac{r}{2g(\gamma^2 - \varphi^2)}}$

oder $dt = \frac{-d\varphi}{\gamma \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{\varphi^2}{\gamma^2}\right)}} . \sqrt{\frac{r}{2g}}$,

und $t = \frac{-\sqrt{r}}{\sqrt{2g}} . \text{Arc. Sin.} \frac{\varphi}{\gamma} + \text{Const.}$

Hier bedeuten φ, γ zwar selbst zwei Bogen, aber die Zahl $\frac{\varphi}{\gamma}$ giebt eine Zahl an, die in den Sinustafeln aufgesucht einen zugehörigen Bogen, der hier in seinem Verhältniſs gegen den Halbmesser angegeben werden muſs, ergiebt. Da t verschwinden soll, wenn $\varphi = \gamma$ ist, weil in D die Bewegung anfing, so ist $t = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{2g}} \left\{ -\text{Arc. Sin.} \frac{\varphi}{\gamma} + \frac{1}{2}\pi \right\}$ indem Arc. Sin. $1 = \frac{1}{2}\pi$ ist; und die Zeit, bis der bewegte Punct in A ankommt, wo $\varphi = 0$ ist, wird $= \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{r}{2g}}$. oder wenn $2r = l$ ist, eben die Zeit $= \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

Hieraus folgt also für sehr kleine Bewegungen auf dem Kreisbogen, daſs die Zeiten nicht von der Gröſse des Bogens abhängen, daſs sie aber den Quadratwurzeln aus den Durchmessern direct, und dem Werthe von $\sqrt{g}$ umgekehrt proportional sind. Für gröſsere Bogen ist das Integral nicht anders als durch Reihen zu bestimmen, und es wird da die Zeit des ganzen Falles durch den Bogen D A

$$= \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{l}{g}} . \left\{ 1 + \frac{1}{4} \frac{AE}{\alpha} + \frac{9}{64} \frac{AE^2}{\alpha^2} + \text{etc.} \right\}$$

Der fallende Körper durchläuft jeden Bogen, der kleiner als der Quadrant, und selbst diesem gleich ist, in kürzerer Zeit, als er die Sehne desselben durchlaufen würde.

Wenn bei unsern Pendeln die Masse des ganzen Körpers als in einem Puncte vereinigt angesehen werden dürfte, so würde die Bewegung des Pendels durch diese Formeln ausgedrückt, und es wäre, da hier die Länge des Pendels = dem Halbmesser des Kreises = r ist, die Zeit einer halben Pendelschwingung $= \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{r}{2g}}$, einer ganzen Pendelschwingung =

$\pi \sqrt{\frac{r}{2g}}$, wenn die Schwingungen klein sind. Hier zeigt sich also, wie g (No. 8) aus der Länge des Secundenpendels bestimmt wird.

17. Da hier die Schwingungen bei *kleinen* Bogen gleiche Zeiten fordern, wenn auch die Bogen verschieden sind, und also für ungleiche kleine Bogen ein *Isochronismus* der Oscillation statt findet, so entstand natürlich die Frage, ob irgend eine Curve für *alle* Bogen die Eigenschaft habe, daſs der fallende Körper jeden Bogen, der bis zum tiefsten Puncte reicht, in gleichen Zeiten durchlaufe [1]. Huygens bemerkte, daſs die *Cykloide* diese Eigenschaft habe, und daſs sie also eine isochronische oder tautochronische Curve sey. Diese Eigenschaft muſs derjenigen Curve zukommen, deren Neigung gegen den Horizont in jedem Puncte so bestimmt wäre, daſs der Sinus der Neigung dem vom tiefsten Puncte an gerechneten und bis zu diesem Puncte genommenen Bogen proportional wäre. Denn wenn Fig. 6. $AG = s$ und $\text{Sin. } GHK = \frac{s}{b}$ wäre, so würde die Geschwindigkeit $= v$, die der Körper in G erlangt hat, um $dv = 2g\frac{s}{b}dt$ zunehmen, also $vdv = -\frac{2gsds}{b}$ und $v^2 = -\frac{2g(s^2 - a^2)}{b}$ seyn, wenn $AGN = a$ der Bogen ist, in dessen Anfangspuncte N die Geschwindigkeit $= 0$ war. Daraus aber würde

$$dt = \frac{-ds}{v} = \frac{-ds}{\sqrt{(a^2 - s^2)}} \sqrt{\frac{b}{2g}}$$

oder $t = \frac{-\sqrt{b}}{\sqrt{2g}} . \text{Arc. Sin.} \frac{s}{a} + \text{Const.}$

oder, weil für $s = a$, $t = 0$ seyn soll,

$t = \sqrt{\frac{b}{2g}}\left(\frac{1}{2}\pi - \text{Arc. Sin.} \frac{s}{a}\right)$ welches die ganze Zeit des Falles vom höchsten Puncte bis an den tiefsten Punct A unabhängig von dem durchlaufenen Bogen $a = \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{b}{2g}}$ giebt.

Hiermit ist erwiesen, daſs die gleiche Fallzeit durch jeden bis an den untersten Punct A reichenden Bogen von jener Eigen-

---

1 Vergl. *Bewegung.* Th. I. S. 963.

schaft abhängt. Jene Eigenschaft läſst sich aber, wenn die verticale Ordinate AF = z heiſst, durch $\frac{dz}{ds} = \frac{s}{b}$ oder $2bz = s^2$ oder $s = \sqrt{2bz}$ ausdrücken, woraus $ds = dz\sqrt{\frac{b}{2z}}$ folgt. Es sey die Ordinate FG = x, also $ds^2 = dx^2 + dz^2 = \frac{b\,dz^2}{2z}$, so wird $dx = dz.\sqrt{\left(\frac{b-2z}{2z}\right)}$; und wenn man hier

$$\text{Cos.}\,\varphi = 1 - \frac{4z}{b} \text{ sëtzt,}$$

$$\text{wodurch } z = \tfrac{1}{4}b - \tfrac{1}{4}b \text{ Cos. } \varphi$$
$$dz = \tfrac{1}{4}b\,d\varphi \text{ Sin. } \varphi$$
$$\sqrt{\left(\frac{b-2z}{2z}\right)} = \text{Cotang. } \tfrac{1}{2}\varphi, \text{ wird: so erhält man}$$
$$dx = \tfrac{1}{4}b\,d\varphi\,(1 + \text{Cos.}\,\varphi);\; x = \tfrac{1}{4}b\varphi + \tfrac{1}{4}b \text{ Sin. } \varphi,$$
$$z = \tfrac{1}{4}b\,(1 - \text{Cos.}\,\varphi).$$

Dieses sind die beiden Gleichungen für die Coordinaten der Cykloide, wenn φ der Wälzungswinkel und $\frac{1}{4}b$ der Halbmesser des wälzenden Kreises ist.

Wie es möglich ist, daſs der Bogen NA eben so schnell als der Bogen GA durchlaufen werde, wenn nämlich das eine Mal in N, das andere Mal in G die Bewegung mit der Geschwindigkeit = 0 anfing, das läſst sich wohl übersehen. Der Körper erlangte nämlich wegen der starken Neigung der Curve in N sogleich im Anfange eine groſse Geschwindigkeit und legt daher den Bogen GA viel schneller zurück, als wenn er in G ohne Geschwindigkeit seinen Lauf angefangen hätte.

18. Die Cycloide hat aber nicht bloſs die Eigenschaft, die tautochronische Curve zu seyn, sondern sie ist auch die *Brachystochrone*, das heiſst, diejenige Curve, auf welcher ein Körper am schnellsten von einem höher liegenden Puncte zum tiefern gelangt.

Wenn der Halbmesser des wälzenden Kreises $= \frac{1}{4}b = \varrho$ ist, so ist die Zeit des Falles bis zum tiefsten Puncte $t = \frac{1}{2}\pi\sqrt{\frac{2\varrho}{g}}$ auf der Sehne NA würde sie $t' = \sqrt{\frac{AN}{g.\,\text{Sin. } ANQ}}$ seyn, also wenn N der höchste Punct,

Sin. ANQ $= \frac{2\varrho}{AN}$ und AN $= \varrho \sqrt{(4 + \pi^2)}$ ist,

$t' = \frac{\sqrt{(4\varrho + \pi^2 \varrho)}}{\sqrt{2g}}$, also viel grösser seyn, und selbst auf dem Kreisbogen wäre sie grösser[1].

Die Linie des schnellsten Falles, oder die Brachystochrone muss so beschaffen seyn, dass $t = \int \frac{ds}{v}$ ein Kleinstes ist. Aber die Geschwindigkeit v ist durch die verticale Höhe des Falles völlig bestimmt; ist diese nämlich $= z$, so ist $v = 2\sqrt{gz}$, die Curve sey welche man will, und es muss also $\int \frac{ds}{2\sqrt{gz}} =$ *minimum* seyn, wenn dieses Integral zwischen den Grenzen genommen wird, welche die beiden gegebenen Puncte, von welchem aus und zu welchem hin die Bewegung gehen soll, bestimmen. Da aber ds nicht als ein unabhängiges Differential der Rechnung zum Grunde gelegt werden kann, weil es, nach Verschiedenheit der Richtung jedes einzelnen Theils der Curve ein anderes Verhältniss gegen dz hat, so müssen wir dafür $ds = \sqrt{(dx^2 + dz^2)}$ setzen, so dass $\int \frac{\sqrt{(dx^2 + dz^2)}}{\sqrt{z}}$ ein Kleinstes seyn muss, indem ja der constante Divisor $2\sqrt{g}$ auf diese Eigenschaft keinen Einfluss hat.

Denkt man sich nun mannigfaltige Curven durch beide gegebene Puncte gezogen, so würde für jede derselben x eine andre Function von z seyn; für jede derselben würde unser Integral einen andern Werth erhalten, und wenn man von einer zu einer andern, wenig davon abweichenden überginge, so würde im Allgemeinen eine Aenderung im Werthe des Integrals vorgehen, und diese Aenderung ist es, die hier die Variation des Integrals, (die man mit δ bezeichnet,) heisst. Aber es erhellet leicht, dass wenn die Curve des schnellsten Falles richtig gezeichnet wäre, so würde man, sowohl durch bedeutendere Abweichungen nach der einen Seite als durch Abweichungen nach der andern Seite, ein *grösseres* Integral erhalten; statt dass also sonst in einer gewissen Reihenfolge, wenn man verschiedene

---

1 Galilei glaubte, der Kreis möge diese Eigenschaft haben. Opere. Tom. II. p. 627.

Linien gezeichnet hätte, die zweite ein kleineres Integral als die erste, und ein gröſseres als die dritte geben würde, hätte die als richtig gezeichnete Curve die Eigenschaft, daſs, wenn sie die mittlere oder zweite wäre, das Integral kleiner für sie als für die erste, aber auch kleiner als für die dritte seyn würde. Mit andern Worten, die richtige Curve ist diejenige, wo das Integral bei *sehr geringen* Aenderungen keine (nämlich durch das erste Glied der Differenzreihe auszudrückende) Aenderung leidet. Daher $\delta \int \frac{\sqrt{(dx^2 + dz^2)}}{\sqrt{z}} = 0$, oder

$$\int \delta . \left\{ \frac{\sqrt{(dx^2 + dz^2)}}{\sqrt{z}} \right\} = 0,$$

oder da die Bestimmung der Variationen keinem andern Gesetze, als der Bestimmung der Differentiale folgt,

$$0 = \int \left\{ \frac{dx . \delta dx}{ds . \sqrt{z}} + \frac{dz . \delta dz}{ds . \sqrt{z}} - \frac{1}{2} \frac{ds . \delta z}{\sqrt{z^3}} \right\}.$$

Da hier das Zeichen δ sich auf die Aenderungen bezieht, die statt finden, wenn man von einer Curve zur andern übergeht, die Integration aber den Fortgang auf einer und derselben Curve betrifft, so bezieht sich die Integration auf das Zeichen d, und indem $\delta\, dx = d . \delta x$, so ist folgende theilweise Integration unstreitig erlaubt:

$$\text{Const.} = \frac{dx}{ds . \sqrt{z}} \delta x + \frac{dz}{ds \sqrt{z}} \delta z - \int \left\{ \delta x . d . \left(\frac{dx}{ds \sqrt{z}} \right) + \delta z \left(d . \frac{dz}{ds . \sqrt{z}} + \frac{ds}{2 \sqrt{z^3}} \right) \right\}$$

Die Const. müſste hier so bestimmt werden, daſs der Werth des Integrals bei dem einen gegebenen Puncte, wo die Bewegung anfangen sollte, = 0 würde und dann müſste das Integral bis zu dem andern gegebenen Puncte genommen werden, um seinen vollen Werth zu erhalten. Daſs diese Integration nicht bloſs erlaubt, sondern nothwendig sey, ist etwas schwerer zu beweisen; indeſs läſst sich wenigstens folgendes annehmen. Wenn wir uns eine der Curven, unter denen wir die richtige auswählen sollen, gezeichnet denken, so gehen wir zu einer andern über, indem wir den einzelnen Puncten jener eine geänderte Lage geben. War also dx, als dem Bogen ab angehörend $= \alpha\gamma$, so wird es, indem jene Puncte nach a′ und b′ hinübergehen, in $\alpha\delta$ verändert und es wäre $\alpha\delta - \alpha\gamma = \delta . dx$.

Fig. 7.

Es erhellet aber leicht, dafs man von der Curve HK zur Curve HL übergehen kann, ohne gerade die Endpuncte eines bestimmten Elementes ab nach den Puncten a' und b' hinüber zu tragen, und dafs folglich die $\delta . dx$, selbst bei dem Uebergange zu einer bestimmten Curve, unbestimmt bliebe. Diese Unbestimmtheit mufs offenbar in der Rechnung vermieden werden, und daher gilt die Regel, dafs die verschiedenen Zeichen δ, d nicht vereinigt vorkommen dürfen.

Sobald durch diese Operation die Glieder so getrennt sind, dafs Glieder mit δx und mit δz multiplicirt aufser dem Integralzeichen, und eben so gebildete Glieder unter dem Integralzeichen stehen, so ist keine weitere Integration möglich; denn eine neue theilweise Integration würde auf $d. \delta x$ und $d. \delta z$ zurückführen, eine vollkommene Integration aber wäre nur möglich, wenn für δx, δz, bestimmte Functionen von x, z gesetzt würden, was gegen die Natur der Sache ist, indem wir dann zu einer genau bestimmten andern Curve übergingen, statt dafs wir zu einer jeden andern Curve sollten übergehen dürfen.

Aber eben diese Betrachtung fordert nun auch, dafs die jetzt noch unter dem Integralzeichen stehende Summe von Gliedern gänzlich verschwinde. Es ist nämlich offenbar, dafs die vom Integralzeichen befreiten Glieder zwischen den Grenzen, welche die beiden Endpuncte angeben, genommen, einen bestimmten Werth geben, die unter dem Integralzeichen stehenden dagegen immer einen andern Werth erhalten, je nachdem wir für δx, δz uns andere Functionen von x und z denken. Jene hängen nur noch von den Endpuncten ab, das ganze Integral dagegen von den durch den ganzen Raum der Curve angenommenen Werthen von δx, δz; nähme man daher auch das Integral so, dafs es für den Anfangspunct verschwände, so würde doch sein Werth für den Endpunct gänzlich von dem Gesetze abhängen, wonach die Aenderungen δx, δz festgesetzt wären; ein solches angenommene Gesetz würde aber die Untersuchung höchst beschränkt auf den Uebergang zu einer bestimmten Curve beziehen; soll sie unbeschränkt durchgeführt werden, so darf ein solches Gesetz gar nicht herein gebracht werden; — kurz, da mit jedem solchen Gesetze ein anderer Werth des Integrals hervorginge, und doch dieses Integral einen constanten Werth haben soll, so mufs es $= 0$ seyn, oder der Coefficient von δx unter dem Integralzeichen, mufs eben so wie

der Coifficient von δz, jeder für sich, $= 0$ seyn, indem nur dann jenes Constantbleiben für alle Functionen, die man statt δx, δz setzen möchte, statt findet.

Es ist also $0 = d.\frac{dx}{ds.\sqrt{z}}$,

$$\text{und } 0 = \frac{ds}{2.\sqrt{z^3}} + d.\frac{dz}{ds.\sqrt{z}}.$$

Hierin scheint eine doppelte Bedingung gegeben zu seyn; ich werde aber sogleich zeigen, daſs die eine schon in der andern enthalten ist, und es läſst sich aus allgemeinen Gründen zeigen, daſs dieses allemal statt findet.

Die erste giebt $\frac{dx}{ds.\sqrt{z}} = \text{Const.}$,

oder $z\,ds^2 = a\,dx^2$,

$$\text{oder } dx = dz\sqrt{\frac{z}{a-z}}.$$

Es sey hier wieder $\sqrt{\frac{z}{a-z}} = \text{Tang.}\,\tfrac{1}{2}\varphi$,

$\frac{\sqrt{z}}{\sqrt{a}} = \text{Sin.}\,\tfrac{1}{2}\varphi$; $\frac{\sqrt{(a-z)}}{\sqrt{a}} = \text{Cos.}\,\tfrac{1}{2}\varphi$,

also $\text{Cos.}\,\varphi = 1 - \frac{2z}{a}$, $dz = \tfrac{1}{2}a\,d\varphi.\,\text{Sin.}\,\varphi$;

$dx = \tfrac{1}{2}a\,d\varphi.\,\text{Sin.}\,\varphi.\,\text{Tang.}\,\tfrac{1}{2}\varphi = a\,d\varphi.\,\text{Sin.}^2\tfrac{1}{2}\varphi.$

also

$x = C - 2a\,\text{Sin.}\,\tfrac{1}{2}\varphi\,\text{Cos.}\,\tfrac{1}{2}\varphi + a\int d\varphi.\,\text{Cos.}^2\tfrac{1}{2}\varphi$,

$x = C - 2a\,\text{Sin.}\,\tfrac{1}{2}\varphi\,\text{Cos.}\,\tfrac{1}{2}\varphi + a\int(d\varphi - d\varphi.\,\text{Sin.}^2\tfrac{1}{2}\varphi)$,

$x = C - a\,\text{Sin.}\,\varphi + a\varphi - x$,

da $dx = a\int d\varphi.\,\text{Sin.}^2\tfrac{1}{2}\varphi$ war,

also endlich $x = \tfrac{1}{2}C + \tfrac{1}{2}a\varphi - \tfrac{1}{2}a\,\text{Sin.}\,\varphi.$

oder da der Anfangspunct der Abscissen willkürlich ist, und C nur davon abhängt,

$$x = \tfrac{1}{2}a\varphi - \tfrac{1}{2}a.\,\text{Sin.}\,\varphi,$$
$$z = \tfrac{1}{2}a - \tfrac{1}{2}a.\,\text{Cos.}\,\varphi,$$

Gleichungen, in denen man die *Cykloide* erkennt.

Daſs die zweite Bedingungsgleichung eben das giebt, läſst sich hier leicht zeigen. Wir hatten nämlich

$$ds.\sqrt{z} = dx\sqrt{a}, \text{ also}$$

$$dx^2 = dz^2.\frac{z}{a-z},$$

$$ds = dz\sqrt{\frac{a}{a-z}}, \text{ und daher}$$

$$d.\frac{dz}{ds.\sqrt{z}} = d.\sqrt{\frac{a-z}{az}} = \frac{-\frac{1}{2}a\,dz}{\sqrt{[az^3(a-z)]}},$$

welches sich gegen $\frac{ds}{2\sqrt{z^3}} = + \frac{\frac{1}{2}dz\sqrt{a}}{\sqrt{(z^3(a-z))}}$ aufhebt.

Die *Cykloide* ist also die Linie des schnellsten Falles, und eben so wie hier wird in allen Fällen die Natur der gesuchten Curve aus dem unaufgelöst gebliebenen Integral, welches $= 0$ seyn mufste, hergeleitet. Nur diejenige Curve, für welche jene einzelnen unter dem Integralzeichen stehenden Coefficienten $= 0$ werden, hat die Eigenschaft, dafs bei kleinen Abweichungen von ihr die Fallzeit sich gar nicht oder nur um Gröfsen des zweiten Grades, (die hier positiv ausfallen würden) ändert.

Um die Cykloide völlig zu bestimmen, mufs nun die Lage der beiden Puncte gegeben seyn. Für den einen mag $x = a'$, $z = b'$ für den andern $x = a''$, $z = b''$ seyn, so würde die Constans der Gleichung Const. $= \frac{dx}{ds.\sqrt{z}}\delta x + \frac{dz}{ds.\sqrt{z}}\delta z$

$$\text{durch Const.} = \frac{da'.\delta a' + db'.\delta b'}{\sqrt{b'}.\sqrt{(da'^2+db'^2)}}$$

gegeben und der volle Werth dieser Integralgleichung durch

$$\frac{da'.\delta a'+db'.\delta b'}{\sqrt{b'}.\sqrt{(da'^2+db'^2)}} = \frac{da''.\delta a''+db''.\delta b''}{\sqrt{b''}.\sqrt{(da''^2+db''^2)}},$$

ausgedrückt seyn.

Wären nun die Puncte, von deren einem der Fall ausgehn und zu deren anderem er hingehen soll, nicht als ganz feste Puncte gegeben, sondern hiefse die Frage, man solle die Linie bestimmen, auf welcher der Körper am schnellsten von der Linie AB zu CD hinüber gelangte, so liefse sich der Anfangspunct G verändern, oder es wäre auch a' und b' einer Variation unterworfen, jedoch so, dafs G auf der Linie AGB bleiben müfste, also $\delta b'$ durch $\delta a'$ gegeben wäre. In diesem Falle bezieht sich $\delta a'$, $\delta b'$, auf die Aenderung der Lage des Anfangspunctes also auf die gegebene Curve AGB, dagegen da', db' auf die Anfangsrichtung der von G ausgehenden Cykloide, die, wie sich leicht zeigen läfst, die gegebene Curve senkrecht schneiden mufs. Etwas genau diesem Entsprechendes findet in Beziehung auf den Endpunct statt. Aber um nicht zu lange bei

Fig. 8.

dieser Frage zu verweilen, will ich nicht diesen Fall betrachten, sondern nur den, da beide Endpuncte fest gegebene Puncte sind. In diesem Falle ist $\delta a' = \delta b' = 0$; $\delta a'' = \delta b'' = 0$, weil keine willkürliche Abänderung der Puncte gestattet ist, und nun fügt die zuletzt angeführte Gleichung keine neue Bedingung zur Auflösung hinzu, sondern diese ist völlig in den beiden Gleichungen

$$x = C + \tfrac{1}{2} a \varphi - \tfrac{1}{2} a. \text{Sin.} \varphi,$$
$$z = \tfrac{1}{2} a - \tfrac{1}{2} a. \text{Cos.} \varphi$$

enthalten, wo C, a noch zu bestimmen sind. Die Lage der beiden Puncte dient zu ihrer Bestimmung, und diese sey also durch $x = 0$, $z = 0$ für den höheren; $x = \alpha$, $z = \beta$ für den tieferen gegeben. Dann ist

$$0 = C + \tfrac{1}{2} a \varphi - \tfrac{1}{2} a \text{ Sin.} \varphi,$$
$$\text{und } 0 = \tfrac{1}{2} a - \tfrac{1}{2} a \text{ Cos.} \varphi,$$

also $\varphi = 0$, im Anfangspuncte (vermöge der zweiten Gleichung) und zugleich $C = 0$; für den Endpunct aber

$$\alpha = \tfrac{1}{2} a \varphi - \tfrac{1}{2} a \text{ Sin.} \varphi$$

und $\beta = \frac{1}{2} a (1 - \text{Cos.} \varphi)$, wo a dadurch bestimmt wird, daſs

$$\text{Cos.} \varphi = 1 - \frac{2\beta}{a},$$

$$\text{und } \alpha = \tfrac{1}{2} a \left\{ \text{Arc. Cos.} \left(1 - \frac{2\beta}{a}\right) - \sqrt{\left(\frac{4\beta}{a} - \frac{4\beta^2}{a^2}\right)} \right\}$$

ist. Die letzte Gleichung, als eine transcendente, muſs durch Versuche aufgelöset werden.

Es sey $\alpha = \frac{1}{2}\beta\pi$, so läſst sich leicht übersehen, daſs $a = \beta$ wird, indem dadurch $\alpha = \frac{1}{2}\beta. \text{ Arc. Cos.} (-1) = \frac{1}{2}\beta\pi$, identisch wird. In diesem Falle ist der Anfangspunct, (wie allemal bei einem festen Anfangspuncte) der Punct, in welchem die Cykloide ihre Spitze hat, der Endpunct hingegen der tiefste der Cykloide, oder der Körper durchläuft gerade die halbe Cykloide.

Um einen andern Fall zu betrachten, sey dagegen $\alpha = 10\beta$, also

$$10\beta = \tfrac{1}{2} a (\varphi - \text{Sin.} \varphi),$$
$$\beta = \tfrac{1}{2} a (1 - \text{Cos.} \varphi),$$
$$10 = \frac{\varphi - \text{Sin.} \varphi}{1 - \text{Cos.} \varphi}.$$

Versucht man hier $\varphi = 270°$, so ergiebt sich nach dem Gleichheitszeichen 5,712,

$\varphi = 300°$ giebt . . . . 12,204.
$\varphi = 290°$ . . . . 9,12.
$\varphi = 293°$ . . . . 9,904.
$\varphi = 294°$ . . . . 10,188.
$\varphi = 293°.\ 20'$ . . . . . 9,9978.
$\varphi = 293°.\ 21'$ . . . . . 10,00002. und endlich

$$a = \frac{2\beta}{1 - \text{Cos. } 293°.\ 21'} = 3{,}313.\ \beta.$$

das ist, die Cykloide muſs durch einen Kreis vom Durchmesser $= 3{,}313.\ \beta$ beschrieben werden, damit der auf ihr fallende und in ihrer zweiten Hälfte wieder steigende Körper in der kürzesten Zeit zum Endpuncte gelange. Da $BC = \beta$, $NB = 10\beta$ war, so würde ein auf NC laufender Körper die Zeit

Fig. 6.

$= \frac{\sqrt{101.\beta}}{2\sqrt{g}} = \frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{g}}.\ 5{,}0497$ nöthig haben; der die halbe Cykloide NA durchlaufende Körper braucht die Zeit

$= \pi.\sqrt{\frac{\beta}{g}}.\ \sqrt{0{,}8281} = 2{,}876.\ \sqrt{\frac{\beta}{g}}$, er würde also in einer

Zeit $= 5{,}74.\ \sqrt{\frac{\beta}{g}}$ den höchsten Punct der Cykloide E wieder erreichen, also der Punct C schon viel früher, und selbst hier, wo der Endpunct erst im Steigen wieder erreicht wird, ist die Cykloide die Linie des schnellsten Falles.

Ueber die Gesetze des Falles im widerstehenden Mitteln s. *Widerstand*. *B.*

Fallmaschine.

Atwood's Fallmaschine, um die Gesetze des freien Falles zu zeigen, beruht auf der einfachen Ueberlegung, daſs man die Schnelligkeit des Falles mäſsigen kann, indem man die Beschleunigung des fallenden Körpers durch ein Gegengewicht vermindert, daſs aber die Gesetze, nach welchen Geschwindigkeit und durchlaufener Weg von der Zeit abhängen, dabei ungeändert bleiben.

Fig. 9.

Auf der Mitte eines dreieckigen Fuſsbrettes AB, welches auf einem Fuſse D und zwei Schrauben E, E, ruhet, um durch letztere horizontal gestellt zu werden, erhebt sich senkrecht die

hölzerne Säule FG, auf welcher, einige Zolle vom höchsten Puncte anfangend, eine Theilung von Zollen und Zehntel-Zollen angebracht ist. Diese Theilung wird, um die Tiefen des Falles anzugeben, von oben an herabwärts gezählt, und geht, (wie die Figur zeigt) bis auf 64 Zolle. (Statt 64 Zolle, welches eine Anordnung auf 8 Secunden ist, könnte man 49 Zoll, 81 Zoll wählen, wenn man die Einrichtung auf 7 oder 9 Secunden machen wollte.)

Oben bei G ist vermittelst der Schraube N, die in einer messingenen Schraubenmutter eine genaue und sichere Haltung finden muſs, eine Platte LM befestigt, welche die Rolle K trägt. Diese Rolle, die sehr genau centrirt und überhaupt sauber gearbeitet seyn muſs, da von ihrer vollkommen gleichen und leichten Bewegung alles abhängt, dreht sich um eine stählerne Axe ab, deren Enden in sorgfältig gearbeiteten Zapfenlagern ruhen. Man kann durch eine Schraube die an den Enden geschlossenen kreisförmigen Zapfenlager ein wenig mehr oder weniger gegen die in Spitzen ausgehenden Enden der Axe drükken, wodurch die — allemal schwache — Reibung ein wenig vermehnt oder vermindert wird. Fig. 10.

Ueber den eingeschnittenen Rand der Rolle geht eine Schnur, an welcher die Gewichte bei OP, O′P′ hängen. Die Rolle hat ihre Stellung aber genau so, daſs das eine dieser Gewichte vor der Mitte der Scale herabläuft. Um die Bewegung der Gewichte, unter denen das vor der Scale herabsinkende das Uebergewicht haben muſs, zu hemmen, dient ein horizontal beweglicher, mit Tuch bekleideter Hebel Q, der die Schnur bei M andrückt, und den man durch einen Schlag mit einem Stäbchen plötzlich fortbewegt in dem Augenblicke, da die Bewegung des fallenden Gewichtes anfangen soll[1]. Die Gewichte richtet man (aus Gründen, die nachher vorkommen) so ein, daſs sie aus kreisförmigen Scheiben bestehen, und auf die mit ihnen gleichen Durchmesser habenden Scheiben OP, O′P′, sich auflegen lassen, wo sie von dem mit OP senkrecht verbundenen, metallenen Stäbchen p gehalten werden, indem sie, mit einem Einschnitte versehen, von der Seite aufgeschoben, auf Fig. 11.

1 Dieser Hebelarm ist in Fig. 9 nur im Querschnitte, als die Schnur bei M andrückend, zu sehen, in Fig. 10 aber im Längendurchschnitte MQ. Sein Drehungspunct liegt etwa bei R.

den Scheiben O P, O′P′ ruhen. Diese Gewichte sind nun erstlich solche, die auf beiden Scheiben O P, O′P′ gleich aufgelegt werden, und dann zweitens ein Uebergewicht, das dem *vor* der Scale herabsinkende Gewichte beigefügt wird. Endlich befindet sich seitwärts an der Säule ein Pendel, welches bestimmt ist, die Zeit des Herabfallens des Gewichtes O P zu messen. Dasselbe ist entweder ein einfaches Secundenpendel, wenn die Gewichte O P, O′P′ so eingerichtet werden, dafs das Herabfallen innerhalb einer Zeit von 8 Secunden geschieht, oder die Linse desselben ist beweglich, um seine Schwingungen willkürlichen Zeiten anzupassen. Der Gebrauch, den man von dieser Maschine machen will, ist ein doppelter. Erstlich zu zeigen, dafs die Fallräume den Quadraten der Zeiten proportional sind; zweitens die Geschwindigkeit, welche der fallende Körper wirklich in einem bestimmten Augenblicke erlangt hat, anzugeben, oder zu zeigen, dafs sie der Theorie gemäfs ist. Die Vorbereitung zu diesen Versuchen besteht nur darin, dafs man die Maschine in eine genau verticale Stellung bringe, und das richtige Uebergewicht, um einen bestimmten Fallraum in der Secunde zu erhalten, berechne. Um das erstere zu erhalten, bringt man die durchbrochene Unterlage, deren Kreisöffnung die Gewichtsscheiben bequem, aber ohne zu grofsen Raum übrig zu lassen, durchläfst, ziemlich tief an der Säule so an, dafs das Gewicht hindurch geht, und corrigirt die Stellung der Säule mit Hülfe der Schrauben E, E, so lange, bis das Gewicht frei, ohne anzustofsen, durchgeht. Diese Unterlage, wird durch den um die Säule passenden Arm w s gehalten, und durch eine Feder bei s an die Säule fest angedrückt. Um aber das zu einer bestimmten Beschleunigung erforderliche Uebergewicht zu finden, mufs man so verfahren. Wir wollen annehmen, die Zolle wären Pariser Zolle und man verlange, dafs der Fallraum in der ersten Secunde 1 Zoll betragen solle, so mufs, da 1 Zoll gleich dem 181sten Theile der natürlichen Fallhöhe ist, die Beschleunigung auf $\frac{1}{181}$ herabgesetzt werden; also, wenn man auf das Moment der Trägheit der Scheibe nicht achtet, und mit P das eine, mit P + q das andere Gewicht bezeichnet, so mufs $\frac{q}{2P+q} = \frac{1}{181}$ seyn, indem die bewegende Kraft gleich dem Uebergewichte q, die bewegte Masse $= 2P + q$

Fig. 12.

ist, und jene Kraft auf eine Masse $= q$ verwandt die volle Geschwindigkeit der frei fallenden Körper, auf $2q$ verwandt die halb so große Geschwindigkeit u. s. w. hervorbringen würde, also nur $\frac{1}{181}$ der Geschwindigkeit, wenn die Masse $= 181 \cdot q$ ist. Es müßte also $180 \cdot q = 2P$, $q = \frac{1}{90} P$ seyn, das ist 50 Gran, wenn man jedes der beiden Gewichte auf 4500 Gran eingerichtet hätte. Um genau zu rechnen, muſs man zu dem Gewichte $2P$ noch das auf die Entfernung der Schnur reducirte Gewicht der Rolle K rechnen; denn auch diese Masse muſs mit in Bewegung gesetzt werden. Ist die Rolle so gearbeitet, daſs sie durchbrochen, wie ein Rad, nur dünne Radien, zu Verbindung des festen Randes, in dem die Schnur läuft, mit der Axe, darbietet, so liegt fast ihre ganze Masse nahe in eben der Entfernung vom Mittelpuncte, wie die Schnur selbst, und erhält fast eben die Geschwindigkeit, wie die Gewichte; daher man dann sehr unbedeutend fehlt, wenn man das ganze Gewicht der Rolle mit den angehängten Gewichten und der Schnur zusammen unter $2P$ versteht.

Findet man es zu unbequem, erst das für den Fallraum $=$ 1 Zoll in der ersten Secunde erforderliche Uebergewicht auszurechnen, so kann man statt des Secundenpendels ein Pendel, an welchem die Linse sich verschieben läſst, nehmen, und dieses so stellen, daſs es 8 Schläge thut, während das mit einem Uebergewicht versehene Gewicht die ganze Scale von 64 Zollen durchläuft; diese Stellung der Pendellinse läſst sich durch einige Versuche leicht erhalten und dient für jedes willkürliche Uebergewicht; hier will ich indeſs annehmen, man habe die Anordnung richtig nach dem Secundenpendel gemacht.

Um nun erstlich zu zeigen, daſs die Fallräume den Quadraten der Zeiten proportional sind, hängt man das Gewicht mit seinem gehörigen Uebergewichte an, und stellt das vor der Scale hängende so, daſs seine untere Fläche genau neben dem Nullpuncte sich befindet. Hat man diese Stellung erreicht, so drückt man den bis dahin von M entfernten Hebel an M an, damit er die Schnur gegen M herandrücke und festhalte. Man achtet dann auf die Schläge des Secundenpendels, und im Momente eines Pendelschlages stöſst man den Hebel zurück und

fängt die Schläge des Pendels zu zählen an. Ist alles richtig angeordnet, so kommt mit dem Ende der 8ten Secunde das Gewicht auf dem Boden bei F an und hat also 64 Zoll in 8 Secunden durchlaufen. Um einen zweiten Versuch für eine andre Fallzeit, zum Beispiel 5 Secunden anzustellen, wird eine Unterlage, die nicht durchbrochen ist, sondern die feste Fläche uvxy *ohne* Oeffnung darbietet, so an die Säule gesetzt, daſs sie auf 25 Zoll anliegt; der vorige Versuch wird genau eben so wiederholt, aber am Ende der 5ten Secunde hört man das Gewicht aufschlagen. So kann man sich für alle einzelne Secunden überzeugen, daſs der Fallraum 1 Zoll in der ersten, 4 Zoll in den 2 ersten, 9 Zoll in den drei ersten Secunden betrage u. s. w.

Bei diesen Versuchen konnte das den übrigen Gewichten zugelegte Uebergewicht jede beliebige Gestalt haben; bei den folgenden, wo die durchbrochene Unterlage ihre Dienste thut, muſs das Uebergewicht die Form eines Stäbchens, dessen Länge den Durchmesser des Kreises zz übertrifft, haben, oder aus mehreren solchen Stäbchen bestehen. Soll nämlich gezeigt werden, welche Geschwindigkeit der fallende Körper in einem bestimmten Puncte erlangt hat, so muſs in diesem Puncte das Uebergewicht abgehoben werden, damit der Körper ohne neue Beschleunigung, mit der einmal erlangten Geschwindigkeit fortgehe. Dieser Zweck wird durch die durchbrochene Unterlage erreicht, welche das Hauptgewicht durchläſst, aber das Uebergewicht abhebt, oder das Stäbchen, welches als Uebergewicht diente, zurückbehält. Es sey diese Unterlage so an der Säule befestigt, daſs sie genau in dem Augenblicke das Uebergewicht abhebt, wo die untere Fläche OP bei 25 Zoll ankommt: so wissen wir nun, daſs die Fallzeit bis dahin, wenn man das Fallen wie vorhin von Null anfangen läſst, 5 Secunden beträgt. Am Ende der fünften Secunde ist die erlangte Geschwindigkeit nach der Theorie $= 2g.t = 2.1.5$, weil hier $g = 1$ Zoll der Fallraum in der ersten Secunde ist, und wenn der Körper nur diese Geschwindigkeit unbeschleunigt behielte, so würde er am Ende der 6ten Secunde bis 35 Zoll, am Ende der 7ten Secunde bis 45 Zoll, am Ende der 8ten bis 55 Zoll gelangen, und wenn man auf 55 Zoll die undurchbrochne Unterlage angebracht hat, so wird man das fallende Gewicht dort mit dem Ende der achten Secunde aufschlagen hören. Will man ihn un-

Fig. 12.

ten bei 64 aufschlagen lassen, so ist es bequem, die durchbrochne Unterlage auf 16 Zoll oder vielmehr so anzubringen, daſs das Uebergewicht abgehoben werde, indem die Grundfläche des Gewichts auf 16 Zoll ankömmt; dann hat es hier eine Geschwindigkeit von 8 Zoll in der Secunde und indem es mit dem Ende der 4ten Secunde 16 Zoll, mit dem Ende der 5ten Secunde 24 Zoll und so ferne erreicht, so schlägt es erst mit dem Ende der 10ten Secunde unten auf.

Die mancherlei Abänderungen, die man bei den Versuchen machen kann, indem man das Uebergewicht gröſser oder kleiner nimmt und so den Fallraum jedesmal anders bestimmt, die Beschleunigung aber immer der Gröſse $\frac{q}{2P+q}$ gleich findet, und andre, will ich hier nicht anführen, da das bisher Gesagte schon zeigt, daſs dieses Instrument ungemein viel Belehrung darbietet, ja sogar uns die Gröſse des Fallraums der frei fallenden Körper ziemlich genau angeben würde, wenn nicht dazu schon bessere Mittel bekannt wären. *B.*

Fallschirm.

Parachute; *Fall-breaker;* nennt man eine schirmartige Vorrichtung, womit Gegenstände aus groſsen Höhen herabfallen können, ohne beschädigt zu werden, weil durch den Widerstand der Luft gegen dieselbe die Fallgeschwindigkeit genügend verzögert wird. Die erste Idee hierzu entlehnte Le Normand, Professor zu Montpellier, aus einer Nachricht, daſs indische Sklaven sich zur Belustigung der Könige vermittelst eines Sonnenschirms aus beträchtlichen Höhen herabzulassen pflegen, und er versuchte es daher selbst den 26sten Nov. 1783, die fischbeinenen Stäbe eines Regenschirms von 30 Z. Durchmesser zur Verhütung des Zurückschlagens an den Enden mit Bindfaden festzubinden, und diesen in der Hand haltend von der ersten Etage eines Hauses herabzuspringen. Weitere Versuche machte er mit Thieren, welche an einem ähnlichen Schirme von 28 Z. Durchmesser unbeschädigt vom Observatorio herabfielen. Für einen Menschen berechnete er die erforderliche Gröſse eines Fallschirms zu 14 Fuſs Durchmesser, und schlug die Gestalt eines Conus als die bequemste vor. Einige dieser Versuche sah J. Montgolfier mit an, und wiederholte sie nachher in Verbin-

dung mit einem gewissen Brante, indem sie eine Vorrichtung von Leinwand in Gestalt einer Halbkugel 7—8 F. im Durchmesser haltend verfertigten, vom Rande derselben 12 Seile 7 F. lang herabhängen liefsen, diese unter der hohlen Fläche der Halbkugel vereinigten, einen Korb aus Weiden geflochten daran banden, und in diesem einen Hammel vom höchsten Thurme in Avignon mehrmals herabfallen liefsen, ohne dafs er im mindesten Schaden erlitt[1]. Blanchard wiederholte diese Versuche, indem er zuerst Thiere von seinen Aërostaten aus beträchtlichen Höhen mit einem Fallschirme herabfallen liefs, und es zuletzt in Basel selbst wagte, sich damit herabzulassen. Hierbei hatte er das Unglück, auf Bäume zu fallen, und ein Bein zu brechen, weswegen er den Versuch nicht wiederholte. Der von ihm gebrauchte Fallschirm, so wie derjenige, womit Garnerin am 1sten Brumaire 1797 im Jardin de Mousseaux herabfiel, glich einem grofsen Regenschirme, welcher halb ausgespannt zwischen dem Ballon und der Gondel, eine Art von Zelt über dem Aëronauten bildete. Als er sich durch den Widerstand der Luft öffnete, hatte er 25 F. im Durchmesser, bestand aus Leinwand, und zeigte in diesem und in andern Fällen beim Fallen dasjenige Phänomen, was aus der Theorie eben so sehr folgt, als für die praktische Anwendung von grofser Bedeutung ist, er gerieth nämlich durch den Widerstand der Luft in starke Schwankungen, wie sie bei einem fallenden Blatte zu seyn pflegen. Später wiederholte Garnerin den Versuch öfter, und in London am 21sten Sept. 1802 schon zum fünften Male[2].

Beim Herabfallen vermittelst eines Fallschirmes mufs man die Schwere des Ganzen im Schwerpuncte vereinigt annehmen, den Widerstand der Luft kann man aber als gegen einen Punct gerichtet ansehen, welcher wenig *unter* dem Schwerpuncte des Fallschirms, und daher *über* dem Schwerpuncte der ganzen Masse liegt. Wenn nun der Schwerpunct sich nicht senkrecht unter dem Widerstandspuncte befindet, so wird letzterer über ersterem pendelartig oscilliren, und zwar so viel schneller, je kleiner der Abstand beider ist, und fielen beide zusammen, so könnte der Fallschirm ganz umschlagen. Es ist daher rathsam,

1 Ann. de Chim. XXXI. 269. G. XVI. 156.

2 S. G. XVI. 38.

die Last tiefer unter den Schwerpunct des Fallschirms anzubringen, und dem letzteren einen längeren Stiel zu geben, um das Oscilliren seines Widerstandspunctes um einen über dem Schwerpuncte liegenden Punct zu verhüten[1]. Die Schwankungen des Fallschirmes, womit sich GARNERIN nach seinem Auffluge zu London am 21sten Sept. 1802 von einer unglaublichen Höhe herabliefs, machte nach NICHOLSON's[2] Berichte Schwankungen, deren jede ohngefähr 6″ dauerte, und so stark waren, dafs der Fallschirm sich halb schlofs, aber wieder ganz öffnete, wenn die Gondel lothrecht unter demselben hing. Der Fallschirm hatte 30 Fufs im Durchmesser, und seine Schwankungen wurden kleiner, als er der Erde näher kam. Dicht über dem Boden erhielt GARNERIN einige heftige Stöfse, befand sich sehr unwohl, wurde aber bald wieder hergestellt[3].

Aufser dieser im Bau des Fallschirms und dem Widerstande der Luft gegen denselben liegenden Veranlassung zu Schwankungen, wird er in solche sicher auch durch das ungleiche Ausweichen der comprimirten Luft, durch die nicht völlig horizontal liegende Widerstandsfläche und durch die Luftbewegungen selbst versetzt, weil sonst die Gröfse derselben überhaupt und ihre Zunahme nicht füglich erklärbar wären.

Sucht man die Gröfse eines Fallschirms, welcher sich mit einer gegebenen Geschwindigkeit bewegen soll, so erhält man diese, wenn man berücksichtigt, dafs der Widerstand der Luft bei gleicher Geschwindigkeit der Bewegung der gegen die Luft bewegten Flächen proportional ist, und daher das gegebene Gewicht des Fallschirms und der daran hängenden Last dem Widerstande für die bestimmte Gaschwindigkeit gleichgesetzt werden mufs.

Unter dem Artikel: *Widerstand der Mittel* befindet sich die von HUTTON berechnete Tafel des Widerstandes gegen eine Fläche von $\frac{2}{9}$ Quadrat F. für die verschiedenen Geschwindigkeiten in Unzen nach Lond. Mafs und Troygewicht, woraus die Gröfsen entlehnt werden können. Es soll z. B. ein Schirm gesucht werden, womit ein Mann von 150 ℔ Gewicht mit 10 F.

1 S. Gilbert XVI. 14. aus Décade philos. lit. et mor. An VI. No. 4. p. 237.

2 S. Nich. Journ. III. 143.

3 Hutton Dict. 44.

Geschwindigkeit herabfällt, oder mit einer solchen, welche er durch einen Sprung von 1,562 F. engl. Höhe erhält[1]. Die Tafel giebt für 10 F. Geschwindigkeit und $\frac{2}{9}$ Quad. F. Fläche 0,57 Unzen = 0,0475 ℔ Widerstand; mithin ist der Widerstand gegen einen Fallschirm vom Halbmesser $r = \frac{9}{2} \times 0{,}0475\, r^2 \pi$, und dieser muſs dem Gewichte des Fallschirmes und des Mannes gleich seyn. Um Ersteres zu bestimmen, sey das Gewicht einer Kreisfläche des Schirmes von 1 F. Rad. = 0,25 ℔. Indem dann die Gewichte sich verhalten wie die Flächen, d. i. wie die Quadrate der Halbmesser, so ist das Gewicht des Schirmes $= 0{,}25\, r^2$. Mithin

$$0{,}25\, r^2 + 150 = \frac{9}{2} \times 0{,}0475\, r^2 \pi$$

woraus $r = 18{,}864$ F. gefunden wird[2]. Wäre die Masse des Fallschirmes zu schwer, so würde r unmöglich werden. Wöge z. B. die Fläche von 1 F. Rad. 1 ℔, so wäre $r^2 + 150 = \frac{9}{2} \times 0{,}0475\, r^2 \pi$ woraus $r^2 (1 - 0{,}67151) = -150$ unmöglich wird. Es läſst sich hiernach also gleichfalls berechnen, welches der gröſste Werth des Gewichtes einer Fläche von 1 F. Radius eines solchen Fallschirmes seyn kann, nämlich für 0,67151 ℔ würde der Radius des Schirmes unendlich werden, und der Quadratwurzel jedes kleineren Gewichtes proportional abnehmen. Auf allen Fall muſs also das Gewicht einer Fläche von 1 F. Rad. kleiner seyn als 0,67151 ℔, und der Fallschirm ist überhaupt um so viel besser, je leichter bei übrigens hinlänglicher Stärke die Substanz desselben ist. Das Gewicht der Stäbe und der Stange des Schirmes, welcher im Allgemeinen die Gestalt eines gewöhnlichen Schirmes haben kann, wird am bequemsten dem Gewichte des Mannes hinzuaddirt, und man kann leicht dafür Sorge tragen, daſs der Schwerpunct tief genug unter den Widerstandspunct zu liegen kommt. Uebrigens ist v in der Formel sehr geringe angenommen. Wenn man berücksichtigt, daſs ein Mensch ohne Furcht vor Verletzung von 4 engl. Fuſs Höhe, insbesondere auf nicht sehr harten Grund füglich herabspringen kann, so wird $s = 4$ F. und $v = 16$ F., wofür die Tabelle einen Widerstand = 1,538 Unzen = 0,128 ℔ giebt. Dieses in die obere Formel substituirt, giebt

---

1 Da die Geschwindigkeit $v = 2\sqrt{gs}$, so ist für $g = 16$ F. engl. und $v = 10$ F. $s = 1{,}562$ F. S. *Fall* No. 4.

2 Vergl. Hutton Tracts of math. and phil. subj. III. 316.

$$0{,}25r^2 + 150 = \tfrac{4}{3} \times 0{,}128 r^2 \pi$$

woraus $r = 9{,}807$ ... also fast 10 F. gefunden wird. Würde der Halbmesser gröſser, so könnte das beschwerende Gewicht auch vermehrt werden.

Der Anblick eines Menschen, welcher sich aus einer groſsen Höhe mit dem Fallschirm herabläſst, ist im eigentlichen Sinne schauderhaft [1]. Im Anfange insbesondere ist der Fallschirm noch geschlossen, der Fall des Aëronauten daher ein beschleunigter, und sehr schnell. Erst durch den Widerstand der Luft wird der Fallschirm entfaltet, die Fallgeschwindigkeit hört auf eine beschleunigte zu seyn, indem sie vielmehr mit dem Widerstande der Luft ins Gleichgewicht kommt, und abnimmt, wenn die Dichtigkeit der Luft wächst. Es ist daher im Grunde gleichgültig, aus welcher Höhe der Aëronaut sich herabläſst, indem unter übrigens gleichen Bedingungen die Fallgeschwindigkeit, womit er auf der Oberfläche der Erde ankommt, bei den verschiedensten Fallhöhen dieselbe ist. *M.*

F a r b e.

Color; Couleur; *Colour*. Das Licht sowohl der selbstleuchtenden, als auch der erleuchteten Körper zeigt unserem Auge eine Verschiedenheit, die nicht von der Intensität desselben abhängt, sondern die uns als eine *Verschiedenheit der Art des Lichtes* erscheint. Diese Verschiedenheit, die keine weitere Beschreibung, keine Erklärung für den, der sie nicht durch den Anblick kennt, gestattet, ist es, was wir *Ungleichheit der Farbe* nennen.

Daſs die Farbe nicht bloſs in einem *verminderten Grade* des Lichtes ihren Ursprung habe, ist daraus klar, weil wir ein dunkles und helles Roth, das dennoch immer das Eigenthümliche des Roth zeigt, ein dunkles und helles Blau, das dennoch immer blau erscheint, anerkennen, und eben dadurch bekennen, daſs das Eigenthümliche des Eindrucks auf unser Gesicht, welches wie im Roth, Blau, u. s. w. finden, bei allen Graden der Lebhaftigkeit und des Glanzes dasselbe bleibe. Von Göthe hat ganz Recht, auf das Schattige (τὸ σκιερὸν) der Farbe aufmerksam

1 Am auffallendsten war Garnerin's eben erwähnter Versuch bei London.

zu machen[1]; denn Körper, die farbig erscheinen, geben ein minder lebhaftes Licht, als weiſse; aber gewiſs liegt nicht das Wesen der Farbenverschiedenheit hierin.

Verschiedene Meinungen über den Ursprung der Farben.

2. Fast alles, was über diesen Gegenstand gasagt ist, hat von Göthe gesammelt[2]; ich werde daraus nur Weniges hier ausheben.

Epikur sagte, die Farben wären nicht etwas dem Körper Eigenthümliches, daher man auch nicht sagen könne, daſs der Körper in der Finsterniſs Farbe habe[3].

Plato[4] nennt die Farbe eine Flamme, die von jedem Körper ausflieſst. — Das wäre also unsern Begriffen, die Farbe sey ein zurückgeworfenes Licht, ganz wohl entsprechend. — Aber freilich weichen die weitern Erklärungen des Sehens und der aus der Verbindung des Feuers mit der Augenfeuchte hervorgehenden Empfindung der Farbe, sehr von unsern Ansichten ab, und geben in keiner Hinsicht verständliche Aufschlüsse über die Entstehung der Farbe.

Aristoteles[5] scheint ziemlich deutlich die Farben alle als Mischungen aus Schwarz und Weiſs anzusehen. Weiſs und Schwarz setzt er, wie Licht und Finsterniſs, einander entgegen, und scheint also das Weiſs als der vollsten Erleuchtung entsprechend, Schwarz als ohne alles Licht anzusehen. Kleine Theilchen, die weiſs und schwarz neben einander liegen, könnten vereint weder weiſs noch schwarz erscheinen, müſsten also eine andere Farbe darbieten; aus den Verhältnissen der schwarzen und weiſsen Portionen entstehe dann eine mannigfaltige Verschiedenheit, und vielleicht gäben die Verhältnisse, die den Consonanzen in der Musik entsprechen, die angenehmsten Farben. Aber wie selbst dieser groſse Philosoph sich und den Leser in einem bloſsen Hin- und Herreden, wodurch man dem

1 Zur Farbenlehre, von Göthe. I. Th. S. 29.

2 Der ganze zweite Theil der Farbenlehre, auf den daher die folgenden Citate gehen.

3 S. 6.

4 S. 8. und Plutarch plac. philos. I. 15.

5 S. 19.

Verständnifs des Gegenstandes gar nicht näher kömmt, ermüdet, dafür dient folgende Stelle zum Beweise. „Wie die Farben aus der Mischung des Weifsen und Schwarzen entstehen, so auch die Geschmäcke aus der des Süfsen und Bittern. Die angenehmen Geschmäcke beruhen auf dem Zahlenverhältnifs. Der fette Geschmack gehört zu dem süfsen, der salzige und bittere sind beinahe eins. Der beifsende, herbe, zusammenziehende und saure fallen dazwischen. Schier wie die Arten des Geschmackes verhalten sich auch die Species der Farben. Denn beider sind sieben; wenn man das Dämmrige (*φαιον*) zum Schwarzen rechnet. Daraus folgt, dafs das Gelbe zum Weifsen gehört, wie das Fette zum Süfsen; das Rothe, Violette, Grüne, Blaue liegen zwischen dem Schwarzen und Weifsen. Und wie das Schwarze eine Beraubung des Weifsen im Durchsichtigen ist, so ist das Salzige und Bittere eine Beraubung des Süfsen in dem nährenden Feuchten," u. s. w.

Von dem, was Theophrast über die Farben sagt[1], kann ich hier nur Weniges anführen. Es erhellet, dafs er das Schwarz als gar kein Licht zurückwerfend ansieht; dafs er Grau, als aus Schwarz und Weifs gemischt betrachtet; dafs er das Gelbroth als aus dem Lichte, wenn es durch reines Schwarz gemäfsiget ist, entstehend, annimmt; dafs er das Blau der Luft als da erscheinend angiebt, wo das Licht abnimmt und die Luft von der Finsternifs aufgefafst wird, u. s. w.

Unter den Schriftstellern, die nach den dunkeln Jahrhunderten des Mittelalters uns einige Belehrung darbieten, hebt v. Göthe, Roger Baco hervor, und sagt uns, was dieser nach seinen, in andern Schriften geäufserten Grundsätzen, unter Voraussetzung, dafs er das, worauf es ankomme, richtig erkannt habe, wohl hätte sagen können; denn wirklich gesagt hat er nicht viel über die Farben. Im sechzehnten Jahrhundert leitete Telesius die Farben aus den Principien der Wärme und Kälte ab[2]. Die übrigen von v. Göthe angeführten Schriftsteller bieten fast gar nichts Belehrendes in Beziehung auf unsern Gegenstand dar. Thylesius und Sim. Portius[3] erklären nur die Farbennamen, die bei den Alten vorkommen. Im siebzehn-

1 v. Göthe. S. 24.
2 v. Göthe. II. 217.
3 S. 173. 197.

ten Jahrhundert beschäftigten sich Mehrere mit den Farben. Kepler[1] sagt gelegentlich, die Farbe entstehe aus einer Schwächung des Lichts. In den farbigen Körpern ist das Licht eingeboren, es ist aber verborgen, so lange sie nicht von der Sonne erleuchtet werden. De Dominis nähert sich in seinen Ansichten sehr dem, was wir nachher als v. Göthe's eigene Ansicht erzählen werden. Aguilonius sieht die Farben als für sich müſsig und träge an; das Licht rege sie an, entreiſse sie den Körpern und mache sie thätig: lumen est velut colorum forma. Die Farbenreihe giebt er so an, daſs Weiſs, Gelb, Roth, Blau, Schwarz, auf einander folgen[2]. Cartesius[3] erklärt die Farben aus der Bewegung der Lichttheilchen. Das mittlere seiner Elemente besteht aus Lichtkügelchen, deren directe Bewegung mit einer gewissen Geschwindigkeit wirkt[4]. Bewegen sich die Kügelchen rotirend, aber nicht geschwinder, als der geradlinige Fortgang, so entsteht die Empfindung von Gelb, eine schnellere Drehung bringt Roth, eine langsamere Blau hervor. In Rücksicht des prismatischen Farbenbildes welches er schon kannte, gelangte er, (sagt v. Göthe) zu der Hauptansicht, daſs eine Beschränkung nöthig sey, um diese Farben hervorzubringen. (Dieses ist nämlich in v. Göthe's Theorie eine Hauptansicht, von der er glaubt, daſs sie von andern nicht genug beachtet sey.) Ath. Kircher[5]. Daſs seine Ansichten sehr den v. Göthe'schen entsprechen, zeigen schon folgende wenige Worte: Die Farbe, als Eigenschaft dunkler Körper ist ein beschattetes Licht, des Lichtes und Schattens ächte Ausgeburt. Indeſs spricht seine Untersuchung über das Blau des Himmels dieses nicht so klar aus; man sieht nicht so eigentlich den Grund, warum die Natur, sich aufs weiseste berathend, gerade die blaue Farbe, die aus einer ungleichen Mischung von Licht und Finsterniſs bestand, gewählt habe; denn der Grund, damit wir die Himmelsräume mit Vergnügen betrachten könnten, ist

1 S. 250.

2 Opticorum Libri 6. pag. 47. 40. v. Göthe. S. 255. 264.

3 S. 277.

4 Obgleich Cartesius eine unendlich schnelle Fortpflanzung des Lichts annahm, so redet er hier doch von ungleichen Geschwindigkeiten. Dioptr. p. 42.

5 S. 279. Kircheri ars magna lucis et umbrae. Lib. I. Pars. 3. Cap. 1. 2. 3.

wenig gründlich, und da das Blau des Himmels doch auch sein Blendendes hat, nicht einmal wahr.

Marcus Marci, de la Chambre, Grimaldi und Isaac Vossius[1] neigen sich mehr zu der Ansicht hin, die wir bald als die Newton'sche vollständiger angeben werden. Der letztere sagt, daſs in dem reinen Lichte die Farben enthalten sind, daſs man dies an den Erscheinungen, die das durch eine Glaslinse in eine dunkle Kammer geworfene Licht darbietet, erkennen u. s. w. Aber er sagt freilich auch, „der Grundstoff der Farben schreibe sich von nichts anderem her, als von dem Schwefel, der jedem Körper beigemischt ist."

Funk[2] und Nuguet[3] dagegen stehen ganz auf v. Göthe's Seite. Aus Nuguet's System verdient Einiges erwähnt zu werden. Er findet im prismatischen Farbenbilde, daſs das Gelb mehr Licht und weniger Schatten enthält, als alle übrigen Farben, das Violett dagegen mehr Schatten als eine der andern. Wenn man dies so ausdrückt, die Erleuchtung sey am stärksten da, wo uns im prismatischen Bilde Gelb erscheint, am schwächsten da, wo das Violett liegt, so wird jeder darin leicht einstimmen. Nach seiner Ansicht, die sich besonders auf die farbigen Schatten stützt, sind alle Farben aus Gelb und Blau zusammengesetzt; das Grün ist eine Mischung aus beiden: das Roth ist Gelb mit Schatten gemischt; da aber Gelb und Blau selbst nur Mischungen von Licht und Schatten sind, so erhellet, daſs alle Farben diesen Ursprung haben.

3. Deutlicher als alle früheren Physiker sprach Newton seine Meinung über die Farben aus, und da der gröſste Theil dessen, was seine optischen Schriften enthalten, auf Versuche gestützt, nichts anders als reine Aussprüche der Erfahrung enthält, (wenige Umstände ausgenommen, wo er dem, was einzelne Versuche ergeben, zu groſse Allgemeinheit beilegte) so haben seine Ansichten den gröſsten Theil der Physiker für sich gewonnen.

Wenn die Sonne Gegenstände erleuchtet, so erscheinen uns diese freilich mit mannigfaltigen Farben ausgestattet; aber

---

1 S. 288. 295. 306.

2 Funccius de coloribus coeli, ein Buch, worin aber auch andere Farben als die des Himmels betrachtet werden.

3 v. Göthe. S. 331.

diese Erleuchtung scheint keine Farbe mehr als die andere zu begünstigen, und wir sind daher geneigt zu sagen, dafs wir jeden Gegenstand mit der Farbe sehen, die ihm eigenthümlich ist, und dafs das Licht der hoch über dem Horizonte stehenden Sonne farbenlos oder weifs ist. Diese Behauptung, die sich freilich auf das immer etwas trügliche Urtheil unsers Auges gründet, stützt sich auf die Vergleichung mit dem, was wir bei anderer Erleuchtung wahrnehmen. Die Oberfläche, welche im freien Sonnenlichte weifs erscheint, ist blau, wenn das auffallende Licht uns blau erscheint; in eben diesem blauen Lichte zeigen die Flächen, welche auch im Sonnenlichte blau erscheinen, diese Farbe erhöht, während rothe Flächen sich gleichfalls blau, aber minder schön darstellen, und so finden wir bei den Erleuchtungen, die wir eben aus dem Grunde farbig nennen, immer, dafs sie eine Farbe schöner zeigen und mehr heben, statt dafs andere entweder unscheinbar werden, oder die neue Farbe annehmen, die dieser besondern Art von Lichte angemessen ist. Die Oberflächen, die uns im Sonnenlichte im reinsten Weifs erscheinen, thun uns bei diesen Vergleichungen vorzüglich gute Dienste, und obgleich unser Auge nur dann ein genaues Urtheil über Gleichheit oder Ungleichheit der ihm erscheinendan Erleuchtung und Farbe geben kann, wenn die zu vergleichenden Gegenstände ihm zugleich vorliegen und mit *einem* Blicke übersehen werden, so sind doch die meisten der Erscheinungen, worauf es hier ankommt, auffallend genug, um immer als wahr erkannt zu werden. — Doch diese Bemerkungen gehören nicht zu den von Newton aufgestellten Behauptungen, die sich etwa so zusammen fassen lassen.

Die Sonnenstrahlen, obgleich sie uns ein weifses, farbenloses Licht darbieten, enthalten dennoch alle verschiedenen Farben in sich. Diese im weifsen Sonnenstrahle enthaltenen Farbenstrahlen werden uns sichtbar, wenn durch Brechung die Richtung des Strahles eine andere wird, indem dann, wegen der ungleichen Brechbarkeit der in jenem Strahle enthaltenen Farbenstrahlen, diese nun nicht mehr unter sich parallel fortgehen, sondern sich von einander trennen. Man beobachtet nämlich, dafs der durch ein Prisma gebrochene Strahl ein Bild, aus Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, die in dieser Ordnung auf einander folgen, zusammengesetzt, darstellt; diese Farben alle gehen also aus jenem weifsen Strahle hervor. Sie

zeigen sich aber auch ganz als aus Zerlegung des weißen Strahles entstanden, indem zwar jeder dieser farbigen Strahlen besondere Eigenschaften zeigt; allemal aber wieder weisses Licht hervorgeht, wenn man jene so vereinigt, daß sie alle wieder in paralleler Richtung fortgehen, oder in dem erleuchteten Puncte zusammen treffen. Diese im weißen Strahle enthaltenen Farbenstrahlen werden nun nicht allein bei der Brechung im Prisma getrennt, sondern auch in unzähligen andern Fällen. Nur diejenigen Körper, welche uns weiß erscheinen, werfen alle Arten Licht gleich gut zurück, und bei ihrer Erleuchtung durch die Sonne erhalten wir daher von ihnen ein eben so gemischtes Licht, wie das Sonnenlicht ist, und dieses zurückgeworfene Licht läßt sich eben so, wie der Sonnenstrahl selbst, in Farbenstrahlen von ungleicher Brechbarkeit zerlegen. Körper, die uns schwarz erscheinen, werfen gar kein Licht zurück, oder nur diejenigen können eigentlich schwarz heißen, die gar kein Licht zurückwerfen. Farbige Körper dagegen, wenn sie uns nämlich von dem weißen Sonnenlichte erleuchtet als farbig erscheinen, zeigen die Farbe derjenigen Strahlen, die entweder einzig oder in vorherrschendem Maße von ihnen zurückgeworfen werden. Die von ihnen zu uns gelangenden Strahlen haben eben die Brechbarkeit, wie die ihnen gleichfarbigen Strahlen im prismatischen Sonnenbilde; indeß ist kaum irgend ein Körper, der so im strengsten Sinne nur *eine* Farbe zurückwürfe, daß nicht einiges fremdes Licht beigemischt sey; deshalb zeigen sich im blauen Lichte zwar selbst die Körper, die wir im weißen Lichte roth sahen, blau, aber in einem weniger lebhaften Blau, weil sie sehr wenig geschickt sind, die blauen Strahlen zurückzuwerfen.

Einen vorzüglich wichtigen Theil der Untersuchungen Newton's macht also die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenen farbigen Strahlen aus. Vermöge dieser ungleichen Brechbarkeit wird der Sonnenstrahl, dessen Theile vor der Brechung alle parallel fortgingen, in Farbenstrahlen zerlegt, die uns darum einzeln sichtbar werden, weil jeder bei der Brechung eine von der Richtung des andern verschiedene Richtung erlangt und daher abgesondert sichtbar wird. Darauf beruht die in die Länge ausgedehnte Form des prismatischen Sonnenbildes, welches als aus einer ganzen Folge farbiger, runder Sonnenbilder zusammengesetzt anzusehen ist. Jeder der so getrennten Farben-

strahlen zeigt bei einer neuen Brechung eben dieselbe Refrangibilität, der rothe nämlich, der bei der ersten Brechung am mindesten brechbar war, am wenigsten von seinem Wege abgelenkt wurde, zeigt sich auch jetzt in eben dem Grade brechbar, statt dafs der zuerst stark gebrochene blaue Strahl auch bei der zweiten Brechung stärker gebrochen wird. Auf eben dieser Eigenschaft beruht es aber auch, dafs die Strahlen wieder zu einer unter sich parallelen Richtung gelangen, wenn man sie eine zweite Brechung durch ein dem ersten genau gleiches Prisma leiden läfst, welches so gestellt ist, dafs beide zusammen ein Parallelepipedum bilden. Die dann nach der Brechung durch beide Prismen hervorgehenden Strahlen sind wieder weifs, da die farbigen Strahlen so gemischt zum Auge gelangen, wie es im ursprünglichen Sonnenstrahle der Fall war.

Eben diese ungleiche Brechbarkeit findet man bei den von farbigen Körpern ausgehenden Farbenstrahlen. Bringt man eine roth bemalte und eine blau bemalte Fläche neben einander und besieht sie durch das Prisma, so findet man die Richtung, in welcher die blauen Strahlen zum Auge kommen, stärker von der ursprünglichen Richtung abweichend, als es bei den rothen der Fall ist. Diese Ungleichheit der Brechbarkeit zeigt sich in den Farbenrändern, die wir durch das Prisma an allen Flächen bemerken, die gemischtes, verschiedenfarbiges Licht zurückwerfen; solche Flächen erscheinen dagegen deutlich begrenzt, frei von diesem farbigen Rande, wenn sie mit einfarbigem Lichte erleuchtet werden.

Dafs die verschiedenen Farben in ihrer Zusammensetzung, oder indem sie gemischt auf das Auge wirken, und zwar in dem Verhältnisse gemischt, wie sie im Sonnenstrahle sind, die Empfindung des Weifs hervorbringen, läfst sich auch durch eine Mischung farbiger Stoffe in einem, jenem Verhältnifs möglichst gemäfsen Verhältnisse genommen, zeigen. Eine solche Mischung nämlich erscheint in der Sonne zwar nicht völlig weifs, weil alle Körper, und so auch diese Farbenstoffe, eine grofse Menge Licht verschlucken; aber sie zeigt sich so weifs, als man in Beziehung auf diesen Lichtverlust nur immer erwarten kann.

Da ich die einzelnen Erscheinungen nachher noch genauer angeben mufs und dabei der Newton'schen Ansicht gröfstentheils folgen werde, so reicht hier diese kurze Andeutung hin.

4. Newton's Gegner, unter denen die meisten kaum verdienen genannt zu werden, zählt v. Göthe auf. Man sieht deutlich, daſs der geistreichere Theil der Physiker auf seine Seite trat; nur Lucas[1], dessen Hauptversuch ich im Art. *Brechbarkeit* No. 8. gründlich betrachtet zu haben glaube, setzte der Newton'schen Theorie etwas Gründliches entgegen, Mariotte[2] erkannte aufrichtig an, daſs sich manche Erscheinungen nach Newton richtig erklären lassen, und wenn er Einiges nicht vollkommen mit seiner Erfahrung übereinstimmend fand, so bedachte er wohl nicht, wie schwer es ist, jede Zumischung fremden Lichtes zu vermeiden; Rizzetti giebt (wie v. Göthe es ausdrückt) „ungeschickter Weise" zu viel von Newton's Behauptungen zu, obgleich er die Lehre von den trüben Mitteln zum Grunde seiner Farbentheorie machte. Die spätern Physiker erscheinen in v. Göthe's Darstellung als gläubige Nachbeter dessen, was Newton gelehrt hatte; richtiger sagt man wohl, daſs Newton's Ansicht sich bei wiederholter Betrachtung immer mehr bewährte, und daſs Voltaire Recht hatte zu sagen, die ganze Welt werde sich endlich unterwerfen und niemand den Triumph der Vernunft auf die Länge hindern. Chastel trat zwar als Gegner auf, aber v. Göthe selbst findet aus seinem Werke nur die Invectiven gegen Newton's Darstellung würdig, um mitgetheilt zu werden, da das Uebrige zur Förderung dieser Lehre wenig beigetragen habe. Fast eben dieses gilt von Gautier und den wenigen andern, die sich gegen Newton erklärten[3].

Als ein sehr bedeutender Gegner Newton's muſs zwar L. Euler erwähnt werden; aber nicht dagegen, ob aus dem weiſsen Lichte durch ungleiche Brechbarkeit die verschiedenfarbigen Strahlen hervorgingen, hat Euler Zweifel erhoben, sondern hierin ist er, der durch Newton's Autorität sich nie hat blenden lassen, völlig auf Newton's Seite. Was er *gegen* Newton bemerkte, bedarf nur die Behauptung, daſs diese ungleiche Brechung in verschiedenen Körpern so übereinstimmenden Verhältnissen folge, daſs kein Aufheben der Farben möglich sey, ohne die Brechung selbst aufzuheben. Newton hatte

1 v. Göthe. II. 435
2 S. 446.
3 S. 529. 543.

auf diese Meinung die Behauptung gegründet, dafs es unmöglich sey, dioptrische Fernröhre zu machen, die die Gegenstände farbenlos zeigten; und auf NEWTON's Autorität gestützt, glaubte DOLLOND zuerst EULER's Ansicht für unrichtig erklären zu dürfen. Aber sehr bald siegte die Wahrheit über NEWTON's Autorität und bekanntlich wurde DOLLOND, der allerdings zuerst durch diese Autorität geblendet war, der berühmteste Verfertiger derjenigen Fernröhre, die er vorhin für unmöglich gehalten hatte. Der ganze Streit gehört, da er nicht den Ursprung der Farbenstrahlen aus dem weifsen Strahle betrifft, nicht hierher; aber er zeigt, wie Unrecht v. GÖTHE hat, wenn er glaubt, NEWTON's grofse Autorität sey es, welche alle Physiker bewogen habe, seine Irrthümer für Wahrheit anzusehen.

Aber dieser Sieg der Newton'schen Farbenlehre ist dennoch aufs Neue zweifelhaft geworden durch den Beifall, welchen v. GÖTHE's Farbenlehre und die dieser beigefügten, hart tadelnden, Einwürfe gegen NEWTON in Deutschland gefunden haben. Diese Farbenlehre geht zwar von Phänomenen aus, die jeder mathematische Physiker nach NEWTON's Ansichten vollkommen befriedigend meint erklären zu können; aber da v. GÖTHE diese Erklärung nicht mit seinen Vorstellungen vereinigen konnte, so übersieht man leicht, wie die Ueberzeugung in v. GÖTHE entstehen mochte, NEWTON sey nur durch Eigensinn und durch absichtliches Verhehlen dessen, was sich nicht mit seiner Theorie vertrug, dazu gelangt, seiner Meinung einen Schein von Wahrheit zu geben, und seine Nachfolger hätten blofs als Vorurtheilsvolle, durch Autorität geblendete Anhänger seine Vertheidigung übernommen.

5. VON GÖTHE erzählt selbst[1] seine ersten optischen Versuche. Er betrachtete durch das Prisma die Wand eines völlig geweifsten Zimmers und erwartete die ganze weifse Wand nach verschiedenen Stufen gefärbt zu sehen[2]; er war verwundert, sie

---

1 Farbenlehre. II. 678.

2 Man kann sich hier der Frage nicht enthalten, wie sollte denn die Wand gefärbt seyn? — Sollte das eine Siebentel roth, das zweite orange u. s. w. seyn? — Dann müfste sich aber ja die Ausdehnung des Roth ändern, wenn die Länge der Wand sich änderte. Oder sollte die ganze Wand in bunte Streifen getheilt seyn, wo an jedes Violet sich wieder Roth anschlösse? — Aber wie breit sollte denn dieser Streifen seyn? — Es scheint, dafs v. Göthe sich eine

noch immer weiſs zu sehen, so daſs nur, wo ein dunkles daran stieſs, sich eine mehr oder weniger entschiedene Farbe zeigte; es bedurfte für ihn keiner langen Ueberlegung, um zu erkennen, daſs zum Entstehen dieser Farbe eine Grenze nothwendig sey; und so sprach er durch einen Instinct sogleich aus, daſs die Newton'sche Lehre falsch sey. Die beiden sich immer einander entgegengesetzten Ränder, das Uebereinandergreifen über einen hellen Streif und das dadurch entstehende Grün, wie die Entstehung des Rothen beim Uebereinandergreifen über einen dunkeln Streif; alles entwickelte sich vor ihm nach und nach. Der Gegensatz von warmen und kalten Farben der Maler zeigte sich hier in abgesonderten blauen und gelben Rändern. Das Blaue erschien gleichsam als Schleier des Schwarzen, so wie sich das Gelbe als ein Schleier des Weiſsen bewies. Das alles schloſs sich an dasjenige an, was die Kunst von Licht und Schatten lehrt u. s. w. — v. Göthe zog einen Physiker zu Rathe, der ihm sagte, alle diese Phänomene wären Newton und allen Physikern bekannt und längst erklärt; aber es gelang weder diesem, noch ist es später irgend jemand gelungen, dem berühmten Verf. der Farbenlehre klar zu machen, was man unter ungleicher Brechbarkeit verstehe, und warum man behaupte, das Violett werde stärker als das Gelb gebrochen. Die Newtonianer haben es sehr übel genommen, daſs v. Göthe sich darin nicht finden konnte; aber man hatte Unrecht, von einem groſsen Dichter, der die Farben mit dem Auge des Malers betrachtete, zu fordern, daſs er mit mathematischer Schärfe den Weg des Lichtstrahls verfolgen sollte.

„Ein entschiedenes Aperçü ist als eine inoculirte Krankheit anzusehen," sagt v. Göthe selbst, — „man wird sie nicht los!" — und so schritt also das Bestreben, Newton zu widerlegen und die neue Farbenlehre zu befestigen, fort. Die *Beiträge zur Optik* erregten wenig Aufmerksamkeit, und ich gehe daher gleich zu dem schon oft angeführten Hauptwerke: *Zur Farbenlehre*, — über, welches 1810 erschien. Ich theile den Inhalt etwas umständlich mit.

Um nicht dem Vorwurfe ausgesetzt zu seyn, als lieſse ich etwas fehlen, das vielleicht zu besserer Begründung nöthig wäre,

---

ganz klare und präcise Beantwortung der Frage, was nach Newton denn eigentlich erfolgen müsse, nie gegeben hat.

theile ich hier auch den Inhalt des ersten Abschnittes dieses Buches mit, obgleich „die physiologischen Farben“ nicht eigentlich zu dem hier zu betrachtenden Gegenstande gehören.

„Die Retina befindet sich, je nachdem Licht oder Finsternifs auf sie wirken, in entgegengesetzten Zuständen; im ganz finstern Raume wird uns ein Mangel empfindbar, dem Auge fehlt jene reizende Berührung mit der äufsern Welt; im starken Lichte wird das Auge geblendet, es ist überspannt, statt dafs es dort in der höchsten Abspannung von Empfänglichkeit war. Bei dem, was wir Sehen heifsen, befindet sich die Netzhaut zu gleicher Zeit in verschiedenen Zuständen; die höchste, nicht blendende Helle wirkt neben dem völlig Dunkeln, und zugleich werden wir alle Mittelstufen des Helldunkeln und alle Farbenbestimmungen gewahr. Schwarz und Weifs geben, gleichzeitig betrachtet, dem Auge neben einander die Zustände, die wir als nach einander durch Licht und Finsternifs bewirkt, angeben. Beide Zustände, zu welchen das Organ durch solche Bilder bestimmt wird, bestehen auf demselben örtlich, und dauern selbst nach Entfernung der äufsern Veranlassung noch eine Weile fort. Blicken wir von dem glänzenden Gegenstande auf eine graue Fläche, so sehen wir dort ein dunkles Bild, jenem glänzenden ähnlich, und die dunkle Umgebung jenes Glänzenden scheint uns hier eine hellere; es wird also eine Umkehrung des Zustandes bewirkt, die sich gut genug so erklären läfst, dafs der Ort der Retina, wohin das dunkle Bild fiel, als ausgeruhet anzusehen ist, weshalb die mäfsig erhellte Fläche, auf welche man nachher sein Auge richtet, lebhafter auf ihn, als auf den stärker in Thätigkeit gesetzten Theil wirkt. Aus denselben Gründen erscheint, wenn man eine vor grauem Grunde stehende weifse Fläche lange angesehen hat, nach dem Wegnehmen der weifsen Fläche der graue Grund an derselben Stelle dunkler.“

Eine Erscheinung, die mehr mit dem Hauptgegenstande, der uns hier beschäftigt, zusammenhängt, ist folgende. „Man lasse im dunkeln Zimmer das durch eine runde Oeffnung einfallende Sonnenlicht auf weifses Papier fallen, sehe diesen erleuchteten Kreis lange an, schliefse die Oeffnung und sehe nach einem ganz dunkeln Theile des Zimmers: so wird man eine runde Erscheinung vor sich schweben sehen, in der die Mitte des Kreises hell, farbenlos, einigermafsen gelb, der Rand aber purpurfarbig erscheint. Es dauert einige Zeit, bis diese Purpur-

farbe von aufsen herein den ganzen Kreis zudeckt und endlich den hellen Mittelpunct völlig vertreibt. Kaum aber erscheint das ganze Rund purpurfarbig, so fängt der Rand an blau zu werden, das Blaue nimmt immer mehr den mittlern Raum ein, bis das Purpur ganz verdrängt ist; ist dann die Erscheinung ganz blau, so entsteht ein dunkler und unfarbiger Rand, der endlich das nun immer kleiner werdende Bild ganz verdrängt. Haben wir dagegen den lebhaften Lichteindruck eines erleuchteten Kreises eben so aufgenommen und sehen nun im mäfsig erleuchteten Zimmer auf einen hellgrauen Gegenstand, so schwebt ein dunkles Phänomen vor uns, das sich nach und nach von aufsen mit einem grünen Rande einfafst, dieser verbreitet sich hineinwärts über das ganze Bild, und nun entsteht ein schmutzig gelber, von aufsen immer mehr die Scheibe ausfüllender Rand, und endlich wird auch dieses von einer Unfarbe verschlungen."

„Hat man farbige Flächen lange starr angesehen, so folgt ihm ein anders gefärbtes Bild, und zwar wenn man das durch jene Farbe angestrengte Auge auf weifsen Grund richtet, sieht man Violett statt einer gelben Fläche, Blau, wenn jene orange war, Purpur (volles schönes Roth) statt des Grünen, und so umgekehrt. Die genannten Farben fordern also wechselseitig eine die andre. Das Auge verlangt dabei Totalität und schliefst in sich den Farbenkreis ab; denn in dem vom Gelb geforderten Violett liegt Roth und Blau, in dem vom Roth geforderten Grün liegt Gelb und Blau u. s. f. Etwas diesem Gemäfses zeigen die farbigen Schatten. Läfst man die von zwei Lichtern geworfenen Schatten eines Gegenstandes auf eine weifse Fläche fallen, bewirkt aber, dafs durch vorgehaltenes farbiges Glas das eine Licht ein farbiges Licht auf die weifse Fläche werfe, so erscheint der von diesem Lichte erleuchtete Schatten eben so gefärbt, der andre Schatten aber zeigt die zugehörige geforderte Farbe."

„Und hier tritt nun eine wichtige Betrachtung ein[1], nämlich die Farbe selbst ist ein Schattiges (σκιερὸν) und wie sie mit dem Schatten verwandt ist, so verbindet sie sich auch gern mit ihm, sie erscheint gern in ihm und durch ihn, wo sich nur der Anlafs dazu darbietet. Das energische Licht erscheint rein weifs und diesen Eindruck macht es auch im höchsten Grade der

---

1 v. Göthe's Worte. I. S. 29.

Blendung; das schwächer wirkende Licht kann zwar auch farbenlos bleiben, aber es findet sich leicht eine Farbenerscheinung dabei ein. Die Retina kann durch ein starkes Licht so gereizt werden, daſs sie schwächere Lichter gar nicht erkennt; erkennt sie solche, so erscheinen sie farbig, und es sieht zum Beispiel ein Kerzenlicht bei Tage röthlich aus. Doch giebt es auch schwache blauliche Lichter. Wenn man nahe an eine weiſse oder grauliche Wand Nachts ein Licht stellt, so wird sie von diesem Mittelpuncte aus ziemlich weit hin erleuchtet. Betrachtet man den daher entstehenden Kreis aus einiger Ferne, so erscheint uns der Rand der erleuchteten Fläche mit einem gelben, nach auſsen rothgelben, Kreise umgeben, und wir werden gewahr, daſs das geschwächte Licht uns den Eindruck des Gelben, Rothgelben, Rothen giebt."

6. Diesen Betrachtungen und Versuchen folgen nun die Untersuchungen über die physischen Farben, deren Inhalt folgender ist:

„Das höchst energische Licht, wie das der Sonne, des in Lebensluft brennenden Phosphors u. a. ist blendend und farbenlos; dieses Licht durch ein nur wenig trübes Mittel gesehen, erscheint gelb. Nimmt die Trübe eines solchen Mittels zu, oder wird seine Tiefe vermehrt, so sahen wir das Licht eine gelbrothe Farbe annehmen, die sich endlich zum Rubinrothen steigert. Wird hingegen durch ein trübes, von einem darauf fallenden Lichte erleuchtetes Mittel die Finsterniſs gesehen, so erscheint uns eine blaue Farbe, welche immer heller und blässer wird, je mehr sich die Trübe des Mittels vermehrt, hingegen immer dunkler und satter, je durchsichtiger die Trübe werden mag, ja bei dem mindesten Grade der reinsten Trübe als das schönste Violett dem Auge sichtbar wird. Jenes so gemäſsigte Licht erscheint nicht bloſs dem Auge gelbroth, sondern wirft auch auf die Gegenstände einen gelbrothen Schein, und der blaue Himmel macht dagegen in der Camera obscura ein blaues Bild. Hieraus erhellet, warum der Himmel und dunkle Berge blau erscheinen, und warum die Sonne am Horizonte roth erscheint."

[Gegenbemerkung. Es ist gewiſs, daſs es manche trübe Mittel giebt, die uns jene Erscheinungen zeigen; aber dieses ist nicht die allgemeine Eigenschaft des Trüben, sondern die Erscheinung beruht darauf, daſs jene trüben Mittel die rothen und gelben Strahlen in gröſserer Menge durchlassen, die blauen

in gröſserer Menge zurückwerfen. Wäre es eine allgemeine Eigenschaft des Trüben, daſs es das geschwächte Licht roth zeigte, so müſste es kein Medium geben, welches das geschwächte Licht weiſs zeigte; aber ein solches Medium haben wir an den wässerigen Dämpfen, an den Wolken und feuchten Nebeln. Wenn ein dicker, nasser Herbstnebel die Erde bedeckt, und nicht eher die Sonne zu sehen erlaubt, bis sie schon hoch über dem Horizonte steht, so erscheint uns die matt durch den Nebel blikkende Sonne silberweiſs, obgleich ihr Licht so geschwächt ist, daſs sie das Auge gar nicht blendet. Eben so silberweiſs erscheint sie uns, wenn sie durch Wolken scheint, während sie hoch über dem Horizonte steht. Und diese Erscheinung der Sonne durch feuchte Nebel und Wolken ist um so merkwürdiger, da auch der von der Sonne beschienene Nebel und die das Sonnenlicht zurückwerfende Wolken uns völlig weiſs erscheinen. Wir haben hier also ein trübes Mittel, welches alle Arten von Farbenstrahlen, die im Sonnenlichte enthalten sind, gleich gut durchläſst, so daſs ihre Mischung uns, der Schwächung ungeachtet, immer noch ein reines Weiſs zeigt, und welches alle Arten von Farbenstrahlen in gleichem Maſse zurückwirft, weshalb sie uns vom Sonnenlichte beschienen, (oder indem wir [mit Göthe zu reden,] durch sie die Finsterniſs sehen,) als rein weiſs erscheinen.

Andre trübe Mittel, z. B. die von wässerigen Dünsten freie Luft, der Rauch u. a. haben dagegen die Eigenschaft, zwar alle Farbenstrahlen in einigem Maſse, aber doch die gelben und rothen am reichlichsten durchzulassen, und dagegen die blauen Strahlen reichlicher als irgend eine andre Art von Strahlen zurückzuwerfen. Wie sich hieraus die Abendröthe und die Farbe der Luft bei der Dämmerung erklärt, habe ich in den Art. *Abendröthe* und *Dämmerung* gezeigt, wo ich auch bemerkt habe, daſs die Abendröthe, sofern ihr Roth auch da, wo das Auge in den finstern leeren Raum gerichtet ist, beobachtet wird, sich gar nicht nach v. Göthe erklären läſst.

Aber Göthe's eigne Worte deuten auf etwas hin, das, mehr ins Klare gesetzt, zu dieser eben entwickelten Ansicht führt. Wenn man die Finsterniſs durch das trübe Mittel sieht, so fordert v. Göthe mit Recht, daſs dieses Mittel von einem darauf fallenden Lichte erleuchtet seyn soll. Erleuchtet aber zeigt sich uns ein Gegenstand nur dann, wenn er Licht zurückwirft,

und v. Göthe gesteht also selbst, daſs es hier das erleuchtete trübe Mittel ist, welche uns durch zurückgeworfene Strahlen sichtbar wird. Es fehlt also nichts, als daſs wir hinzufügen, daſs es durch zurückgeworfene *blaue* Lichtstrahlen uns als *blau* sichtbar wird.

Das hier Gesagte findet nun auch auf andere trübe Mittel z. B. weiſses Glas, (Knochenglas) Anwendung. Dieses Glas wirft zwar viele Lichtstrahlen aller Art zurück, und erscheint uns deshalb als weiſs; aber es erscheint uns als blaulich weiſs, weil ein Uebermaſs blauer Strahlen zurückgeworfen wird. Wegen der sehr vielen zurückgeworfenen Strahlen ist das durchgelassene Licht überhaupt sehr schwach, und da die wenigen durchgehenden Strahlen ihr Blau gänzlich verloren haben, so muſs jeder durch dieses Glas gesehene leuchtende Körper uns sehr rothgelb erscheinen, und es bliebe allenfalls nur noch die Frage übrig, ob nicht das Roth, welches uns durch dieses Glas gesehen die Sonne zeigt, nicht noch weniger Gelb enthält, als es nach dem Verluste der blauen Strahlen billig enthalten sollte.

Eine andere Betrachtung scheint mir ebenfalls anzudeuten, daſs das Blau nicht bloſs eine getrübte Finsterniſs ist. Es giebt nämlich Sterne mit blauem, ja nach Herschel, auch mit grünem und mit violettem Lichte. Haben die röthlichen Sterne ihr rothes Licht daher, weil es durch trübe Mittel zu uns kömmt, woher haben dann jene ihr blaues Licht? — Diese Frage scheint doch nur in dem Bekenntniſs, es gebe ein an sich rothes, es gebe ein an sich blaues Licht, ihre Beantwortung zu finden[1].]

v. Göthe bemerkt ferner: „Die blaue Erscheinung an dem untern Theile des Kerzenlichtes gehört auch hieher. Man sieht diese blaue Farbe nur vor einem dunkeln Hintergrunde, und wird nichts Blaues gewahr, wenn man die Flamme vor weiſsem Grunde sieht. Es ist also der untere Theil der Flamme und so auch die Weingeistflamme als ein feiner Dunst anzusehen, der vor der dunkeln Fläche sichtbar wird."

[Gegenbemerkung. Die Weingeistflamme besitzt ein eigenthümlich blaues Licht. Woher käme es sonst, daſs da, wo im Dunkel die Erleuchtung allein von Weingeistflammen ausgeht,

---

1 Vergl. hiermit die Beob. in Tilloch und Taylers philos. Magaz. and Journal 1824. 208. 317.

alle Körper sich auf die bekannte auffallende Weise zeigen, ganz dem gemäfs, was eine Lichtmischung, in welcher Blau vorherrscht, bewirken mufs. Aber auch der von v. Göthe angeführte Versuch braucht nur etwas vollkommener angestellt zu werden, um ein Zeugnifs gegen ihn abzulegen. Es ist wahr, dafs eine Weingeistflamme von 1 Zoll Durchmesser sich nicht als Blau zeigt, wenn man sie vor einem sehr hellen Hintergrunde sieht; aber man begiefse auf einer Metallplatte einen schmalen, 12 Zoll langen Raum mit Weingeist, stelle am Tage ein vom blofsen Tageslichte erleuchtetes weifses Papier so auf, dafs das Auge über die ganze Länge jenes Streifes nach dem Papier hinsieht: dann sieht man, nachdem der Weingeist angezündet ist, das Papier allerdings blau, oder sieht es von einer blauen Flamme verdeckt. Ist das weifse Papier von der Sonne selbst erleuchtet, so sieht man wieder kein Blau; aber es erhellet nun leicht, dafs man nur eine 50 oder 100 Zoll lange Flamme anwenden dürfte, um auch hier das, in Vergleichung gegen den blendenden weifsen Glanz allzu schwache, blaue Licht gewahr zu werden.]

„Der Grund des Meeres erscheint den Tauchern purpurfarben, (tief roth), wobei das Meerwasser als trübes, tiefes Mittel wirkt.“

[Gegenbemerkung. Da das Meer an der Oberfläche grün erscheint, so erhellet, dafs das Meerwasser aufser den blauen Strahlen auch die grünen und viele gelbe zurückwirft; es bleiben also bei dieser Zerlegung in zurückgeworfenes und durchgelassenes Licht nur die tief rothen und vielleicht die orange und einige gelbe Strahlen übrig, welche durchgelassen werden und die Sonne dort unten als tief roth zeigen müssen. Es wäre zu wünschen, dafs ein Göthianer sich einmal in der Taucherglocke auf den Boden des Meeres begäbe und dort das prismatische Sonnenbild beobachtete: er würde ganz gewifs einen sehr schwachen, grünen, blauen, violetten Farbenrand sehen, das viel weniger lang ausgedehnte Farbenbild aber blofs tief roth mit einem nicht sehr leuchtenden orangefarbenem und gelben Rande erblicken, und so aus der Tiefe des Meeres die Ueberzeugung, dafs Newton's Theorie die richtige ist, mitbringen.]

v. Göthe glaubt in dem Bisherigen die Urphänomene, aus denen sich nun die Erklärung aller einzelnen Erscheinungen er-

gebe, dargestellt zu haben [1], und ich glaube daher die Darstellung hier abbrechen zu dürfen, indem ich mir vorbehalte, seine Ansichten über einzelne Erscheinungen nach und nach am gehörigen Orte zu erwähnen.

Von den zahlreichen Anhängern von Göthe's sage ich hier nichts, da sie schwerlich etwas anführen können, wodurch sie diese Lehre gründlicher befestigt hätten, einige Invectiven gegen Newton und die Newtonianer abgerechnet [2].

7. Die bisherigen Erörterungen betrafen nur die nächste Ursache der Farben-Entstehung. Wenn wir aber auch, wie der gröfste Theil der Physiker, diese darin finden, dafs die Lichtstrahlen alle Arten von Farbenstrahlen in sich enthalten, und dafs bei der Brechung diese getrennt und bei dem Auffallen auf Körper nur gewisse Strahlen zurückgeworfen werden, so drängt sich uns doch noch die weitere Untersuchung auf, worin denn nun im Wesen der Lichtstrahlen der Unterschied bestehe, der die Empfindung der Farbenverschiedenheit hervorbringt. Man hat mit Recht gesagt, die ungleiche Brechbarkeit sey doch nur eine Eigenschaft der Farbenstrahlen und nicht das Wesen der Farbe selbst.

Diese Frage scheint sich mit unsern jetzigen Kenntnissen noch gar nicht beantworten zu lassen, und, das Wenige, was man darüber zu sagen im Stande ist, kömmt ungefähr auf Folgendes zurück.

Nach der *Emanationstheorie*, welche Lichttheilchen annimmt, die von den Körpern ausgehen, müssen wir eine Verschiedenheit in der Natur dieser Lichttheilchen selbst zugestehen. Die Theilchen, welche den violetten Strahl bilden, müssen eine stärkere Verwandtschaft zu den Körpern haben, und mehr von ihnen angezogen werden; dadurch wird denn allerdings eine stärkere Brechung hervorgebracht. Diese Verwandtschaft der einzelnen Arten von Lichttheilchen ist bei jedem Körper anders, und obgleich die violetten Strahlen allemal mehr als die übrigen angezogen werden, so ist doch der Grad der Verschiedenheit der Anziehung für violette, grüne, rothe Strahlen, keinesweges bei allen Körpern gleich. — Die ungleiche Zer-

---

1 S. 67.

2 Selbst was der verdienstvolle Seebeck in Schweigg. Journal. I. 4. als Farbentheorie mittheilt, ist wenig belehrend.

streuung der Farben nöthiget uns, eine solche Verschiedenheit zuzugestehen.

Die in der Folge anzuführenden chemischen Wirkungen der Farbenstrahlen[1] stimmen mit der Behauptung, daſs die violetten Strahlen mehr von den Körpern angezogen werden, überein; denn diese sind es, welche die gröſsten chemischen Wirkungen hervorbringen. Was aber der Grund sey, warum verschiedene Körper die eine oder andere Art von Lichtstrahlen in gröſserer Menge zurückwerfen? — Worin die ungleiche Einwirkung auf unser Auge bestehe? — Diese und viele andere Fragen können wir noch nicht mit Gewiſsheit beantworten, da Newton's Ansicht, es hänge dieses von der Gröſse der Theilchen ab, doch nur hypothetisch ist.

Auch die Vertheidiger der *Undulationstheorie* sehen die ungleiche Brechbarkeit der Farbenstrahlen als einen Hauptumstand an, dessen Ursache nachgewiesen werden muſs. Da nach dieser Ansicht die Brechung auf einer verminderten Geschwindigkeit der Lichtwellen in dem dichtern Körper beruht, so müſste die Geschwindigkeit der violetten Strahlen am meisten vermindert werden. Dieses anzunehmen, hält Euler nicht der Natur der Sache angemessen, sondern glaubt, man müsse die Einwirkung der folgenden Lichtwellen auf die vorhergehenden in Betrachtung ziehen, und erhalte die Brechung da am stärksten, wo die Wellen am wenigsten häufig auf einander folgen, also die gröſsten Zwischenräume lassen. Hiernach hinge also die Empfindung der Farbe von der ungleichen Zahl der in gleicher Zeit das Auge treffenden Lichtwellen ab, und die rothe Farbe erschiene uns da, wo die zahlreichsten, in den kürzesten Zeiträumen einander folgenden Lichtwellen das Auge treffen; die violetten Strahlen entsprächen den breitesten Wellen. Diese ungleichen Wellen müſsten also durch entsprechende Ungleichheiten in den Vibrationen des leuchtenden Körpers zuerst erregt werden, und fänden dadurch in den von ihnen ausgehenden Lichtstrahlen statt. Wenn diese Strahlen die Oberfläche der uns sichtbaren Körper berühren, so entsteht eine kleine Zusammendrückung der Theilchen, und nun theilt sich, bei durchsichtigen Körpern, diese den benachbarten Theilchen so mit, daſs die Lichtwellen durch den Körper ihren Fortgang finden;

---

1 S. unten No. 18.

bei undurchsichtigen dagegen wird dem umgebenden Aether durch diese getroffenen Theilchen eine neue vibrirende Bewegung eingedrückt, nach deren Verschiedenheit die uns erscheinende Farbe der Körper ungleich ist, die Farbe eines Körpers hängt also hiernach von der Elasticität ihrer kleinsten Theilchen und der Einwirkung ab, die sie auf den Aether äufsern[1]. Im Art. *Licht* wird die ganze Theorie noch näher betrachtet werden.

Das prismatische Farbenbild.

8. Wenn man durch eine kleine Oeffnung die Sonnenstrahlen in ein finsteres Zimmer fallen läfst, so bildet sich auf einer dem Lichtstrahle senkrecht gegenüber gestellten Ebene ein rundes Sonnenbild ohne Farben. Fängt man das Sonnenbild auf einer weifsen Ebene auf, so erscheint es weifs. Aber wenn man in diesen Sonnenstrahlen ein Prisma aufstellt, so dafs die Richtung der einfallenden Strahlen in einer gegen die Kanten des Prismas senkrecht gelegten Ebene des Querschnitts des Prismas liegt, so zeigen die so im Prisma gebrochenen Sonnenstrahlen ein farbiges Sonnenbild. Das sonst runde Sonnenbild erscheint in die Länge ausgedehnt, und ist am einen Ende roth, am andern violett gefärbt. Die Strahlen werden im Prisma gebrochen und jenes Farbenbild zeigt sich ganz, so wie es erscheinen müfste, wenn Strahlen von verschiedener Farbe, deren jeder eine etwas andere Brechbarkeit hätten, zugleich von der Sonne ausgingen. Wir wollen uns, als Hypothese einmal denken, die Sonne sende uns im einem Augenblick rothe, im andern grüne, im dritten violette Strahlen zu, und jede Art von Farbenstrahlen habe eine bestimmte Brechbarkeit, die aber bei den rothen Strahlen geringer als bei den grünen, bei den grünen geringer als bei den violetten sey: so würde sich uns das durch das Prisma dargestellte Sonnenbild nicht allein bald roth, bald grün, bald violett zeigen, sondern sich auch bald in Ff, bald in Hh, bald in Gg darstellen. Es würde nämlich der vom obern Sonnenrande der rothen Sonne kommende Strahl ABC nach CDF gebrochen, der vom untern Rande der rothen Sonne kommende Strahl aBc nach cdf gebrochen werden und so würde sich offenbar in Ff ein rothes Sonnenbild darstellen. Die

Fig. 18.

[1] Euleri opuscula Tom. I. p. 169.

grüne Sonne würde ihre Strahlen eben so durch die Oeffnung B senden, aber da wir annehmen, die grünen Strahlen würden mehr gebrochen, so würde das durchs Prisma hervorgebrachte grüne Bild mehr von dem Orte K, wohin das ungebrochene Sonnenbild fiel, entfernt etwa in H h liegen; das Bild der violetten Sonne, noch weiter entfernt, nach G g fallen, und je nachdem bald die rothe, bald die grüne, bald die violette Sonne schiene, hätten wir diese ungleich gefärbten Sonnenbilder nach der Brechung auch in einer verschiedenen Lage.

Sendet die Sonne alle diese verschiedenfarbigen Strahlen zugleich aus, und sind der Farben noch mehrere, so müssen diese einzelnen Farbenbilder einander bedecken, und vereinigt ein langes Farbenbild F g darstellen, in welchem das am wenigsten brechbare Roth am einen Ende, das am meisten brechbare Violett am andern Ende am lebhaftesten hervortreten, in der Mitte aber ein Uebergang von einem Farbenbilde zum andern statt finden wird. Wir könnten aber jene Farbenbilder einzeln dargestellt erhalten, wenn wir in L verschiedene gefärbte Mittel aufstellten; wovon das eine nur die rothen, das andere nur die violetten Lichtstrahlen und so weiter, durchließen, und da[1] v. Münchow den Versuch angestellt und wirklich solche getrennte Farbenbilder erhalten hat, so haben wir alles Recht zu behaupten, jene bloſs hypothetisch angenommene Voraussetzung zeige sich der Erfahrung so gemäſs, daſs wir uns zu dem Satze,

---

1 Astron. Zeitschr. von v. Lindenau und v. Bohnenberger II. 455. Die frühern Versuche von Hassenfratz (Ann. de Chimie LXVI. 314. LXVII. 5.) scheinen nicht so bekannt geworden zu seyn, als sie verdienten. Ich selbst habe diese Versuche so wiederholt, daſs ich bei L eine Röhre mit gefärbten Flüssigkeiten aufstellte. Der Lichtstrahl ging durch diese mit der Axe der Röhre parallel, und traf die beiden parallelen Glasplatten, welche die Grundflächen dieses Cylinders bildeten, senkrecht. Indem er so zu dem Prisma gelangte und auf die gewöhnliche Weise gebrochen wurde, stellte sich im recht finstern Zimmer das zwar geschwächte, aber doch deutliche Sonnenbild so dar, daſs, wenn die Flüssigkeit verdünnte Lakmustinctur war, das tief rothe Bild rund und mit Dunkel von allen Seiten umgeben erschien; etwas davon abstehend zeigte sich ein verlängertes blaues und violettes Bild; die orangenfarbenen und gelben Strahlen aber waren ganz unterdrückt, so daſs an der Stelle des Farbenbildes die sonst die hellste ist, gar nichts zu sehen war; vom Grün zeigte sich kaum ein matter Ueberrest an dem blauen und violetten Bilde.

die Sonne sende uns wirklich solche verschiedenfarbige Strahlen zu, hingeleitet finden[1].

Diese einzelnen farbigen, runden Sonnenbilder deutlich zu sehen, hat HERSCHEL noch ein anderes Mittel angegeben[2]. Wenn man das durch das Prisma auf die gewöhnliche Weise dargestellte, auf weifsem Papier aufgefangene Sonnenbild durch ein rothes Purpurglas, woran noch ein ziemlich rein rothes Glas gelegt ist, besieht, so erscheint jenes Farbenbild völlig kreisförmig, wohlbegrenzt und tief roth. Das aus jenen zwei Glasarten zusammengesetzte Glas läfst nämlich nur die am allerwenigsten brechbaren rothen und keine anderen Strahlen durch, und für das Auge, welches durch dieses Glas sieht, ist es eben so gut als ob die übrigen gar nicht da wären; dieses Auge erkennt also das rein rothe Sonnenbild und sieht es rund, so wie es sich bei Strahlen von gleicher Brechbarkeit immer zeigen mufs.

Wir sind also wohl berechtigt zu sagen, die Farbenstrahlen entstehen aus den weifsen Sonnenstrahlen wirklich so, dafs wir diese weifsen Strahlen als aus jenen gemischt ansehen dürfen. Das in die Länge ausgedehnte Sonnenbild besteht aus einer Reihe runder Farbenbilder, die wegen ihrer ungleichen Brechbarkeit jedes auf einen andern Platz fallen, aber, nahe an einander gereiht, sich einander bedecken und daher alle Uebergänge von einer Farbe in die andere darstellen. Die sich hier zeigenden Farben sind ein *tiefes Roth* an dem Ende des Farbenbildes, wo die am wenigsten gebrochenen Strahlen hinfallen; *Orange* schliefst sich daran an und bildet den Uebergang zum Gelb; an das *Gelb* schliefst sich *Grün* und dann ein lebhaftes *Blau*, das weiterhin dunkler wird und endlich in Violett übergeht. *Violett* ist die am meisten gebrochene Farbe.

Fig. 14.

Aber nicht blofs entstehen diese Farbenstrahlen aus dem

---

1 Diese völlig von einander getrennten Bilder sind also keine Mährchen, wie GÖTHE II. 504. meint.

2 Philos. Transact. of the Edinb. Soc. IX. 445. Auch diesen Versuch findet man bestätigt, wenn man das Sonnenbild wie gewöhnlich auffängt; es dann aber durch jene mit Lakmustinctur gefüllte Röhre besieht; auch da erscheint das rothe Bild ganz rein und rund. Dieser Versuch gelingt selbst, wenn die Verfinsterung des Zimmers nicht sehr sorgfältig zu Stande gebracht ist, statt dafs der in der vorigen Anmerkung erwähnte, ein recht gut verfinstertes Zimmer fordert.

weiſsen Strahle, sondern ihre Mischung bildet auch wieder weiſs, und aus diesem Gründe zeigt sich auch unter gewissen Umständen ein Theil des durch ein Prisma hervorgebrachten Sonnenbildes weiſs. Wenn nämlich AC der vom obern Sonnenrande, ac der vom untern ausgehende, durch die Oeffnung B einfallende Strahl ist, so hat man bei g den rein violetten, bei F den rein rothen Rand des auf einer weiſsen Tafel NM aufgefangenen Sonnenbildes. Fiele bloſs ein einziger, aus allen Farben gemischter Strahl ac ein, so würde dessen grüner Theil nach h, sein rother Theil nach f gelangen; aber ganz gewiſs gelangt auch zu dem zwischen C und c liegenden Puncte u ein Lichtstrahl von einem etwas vom untern Sonnenrande entfernten Puncte, der seinen violetten Theil nach h wirft und also dort das *Grün* mit *Violett* mischt, und eben so gelangt nach einem andern Puncte v ein Sonnenstrahl, der sein *Violett* nach f wirft, wo es mit dem *Roth* des in c auffallenden Strahles und mit dem *Grün* des in u auffallenden Strahles gemischt wird; wegen dieser Mischung aller Arten von Farbenstrahlen sieht unser Auge die Fläche in f weiſs, weil eine Erleuchtung durch alle Arten von Farbenstrahlen im bestimmten Verhältniſs uns die Empfindung des Weiſsen giebt. Eben diese Betrachtungen finden bei allen gegen die Mitte des auf NM aufgefangenen Sonnenbildes statt. Nur gegen die Grenze g hin treten *Blau* und *Violett*, gegen die Grenze F hin *Orange* und *Roth* als Farbenränder hervor, während in der Mitte das Sonnenbild weiſs ist. Entfernt man die Tafel MN weiter vom Prisma, so wird, wie die Figur zeigt, das Farbenbild eines nicht gröſser, als die Sonne, erscheinenden Gegenstandes immer deutlicher hervortreten. In F′g′ z. B. mischt sich, wenn der gezeichnete mittlere Strahl den grünen bedeutet, in den ganzen Theil F′f noch gar kein grünes oder blaues Licht, und an dem Roth wird sich deutlicher als in MN das Orange und Gelb zeigen; eben so wird von g′ bis G′ das Violett und Blau durch mindere Mischung mit Grün oder Gelb, reiner erscheinen; zwischen G′ und H′ sind Violett und Blau mit etwas Grün, zwischen f′ und H′ sind Roth, Gelb mit Grün gemischt; aber zwischen f′ und G′ tritt ein Grün hervor, das nur mit Blau von der einen Seite, mit Gelb von der andern Seite gemischt, aber von Violett und Roth ganz frei ist.

Fig. 13.

9. Um zu sehen, wie diese Lage der einzelnen Farbenbil-

der genau bestimmbar ist, will ich die Richtung der durch den Mittelpunct der Oeffnung B gehenden Strahlen nach der Brechung berechnen.

Es sey $ACX = \varphi$, $ABa = \alpha$, $acX = \varphi + \alpha$; die Entfernung $BC = a$, so ist $Cc = \frac{a . \text{Sin.} \alpha}{\text{Sin.} (\varphi + \alpha)}$ zugleich bekannt. Das Verhältniſs der Sinus bei der Brechung sey wie $1 : \frac{m}{n}$, und

$CY = b$, so ist $\text{Cos.} DCY = \frac{m}{n} \text{Cos.} \varphi$,

und $DY = \frac{b . \text{Sin.} DCY}{\text{Sin.} (DCY + CYD)}$, woraus dann auch FDY leicht gefunden wird.

Um ein wirkliches Beispiel zu berechnen, sey Bu = 4 Zoll uY = 1 Zoll, der Winkel Y = 60 Grade. Ich will annehmen, das Prisma sey so gestellt, daſs der in Bu enthaltene grüne Strahl im Innern des Prismas die Winkel $duY = udY = 60°$ bilde. Ich will Bu als vom Mittelpuncte der Sonne herkommend annehmen, so daſs der vom untern Sonnenrande herkommende Sonnenstrahl ac mit ihm einen Winkel uBc = 16 Minuten macht. Die Brechungsverhältnisse nehme ich so an, wie sie nach Fraunhofer [1] mitgetheilt sind, für Roth = 1,63074, Grün = 1,64349, Violett = 1,65203. Dann ist erstlich für den grünen vom Mittelpuncte der Sonne ausgehende Strahl

$duY = 60°$; $XuB = 34° \ 44' \ 23'' = \varphi$,
$udY = 60°$; $ZdW = 34° \ 44' \ 23''$

Für den grünen, vom untern Rande ausgehenden Strahl ist

$Xca = 35° \ 0' \ 23''$
$d'cY = 60° \ 6' \ 26''$
$Yd'c = 59° \ 53' \ 34''$
$Zd'h' = 34° \ 28' \ 16''$.

Die beiden grünen Strahlen divergiren fast ganz genau eben so, wie sie es vor der Brechung thaten. Es läſst sich leicht übersehen, daſs dieses auch auf einen dritten grünen Strahl anwendbar sey, der vom obern Sonnenrande ausginge. Hierauf gründet sich die fast ganz genaue Kreisform eines reinen einfarbigen Bildes.

---

1 S. Art. *Brechbarkeit;* am Ende.

Zweitens. Aber nun enthält der Strahl Bu, für welchen der Winkel $BuX = 34°. 44'. 23''$ ist, auch violettes Licht, welches, stärker gebrochen, ein wenig von der Richtung des grünen Strahls abweicht; für dieses ist

$$Yud = 60° \ 10' \ 14''$$
$$Ydu = 59° \ 49' \ 46''$$
$$ZdW = 33° \ 52' \ 26''$$

Dieser violette Strahl macht also mit dem vorhin mit ihm verbundenen grünen Strahle einen Winkel von 52 Minuten; aber auch mit dem vom untern Sonnenrande herkommenden grünen Strahle einen Winkel von 36 Minuten, so daſs er diesen letztern irgend wo schneiden wird.

Ich will noch die Berechnung für einen vom obern Sonnenrande herkommenden violetten Strahl hinzufügen, für welchen der Winkel

$$BCX = 34° \ 28' \ 23'' \text{ würde, also}$$
$$eCY = 60° \ \ 3' \ 54''$$
$$YeC = 59° \ 56' \ \ 6''$$
$$ZeG = 34° \ \ 8' \ 30''$$

Der vom obern Rande kommende violette Strahl schneidet also den aus der Mitte der Sonne kommenden grünen Strahl unter einen Winkel von 36 Minuten.

Drittens. Der vom untern Sonnenrande ausgehende Sonnenstrahl enthält zwar auch einen violetten Antheil; aber ich will hier nur den rothen betrachten, weil dieser sich zu einer Vermischung mit dem Strahle CDH hin neigt. Für diesen einfallenden Strahl ac war $acX = 35° \ \ 0' \ 23''$

$$\text{und es ist also } Ycd = 59 \ \ 50 \ \ 56$$
$$Ydc = 60 \ \ \ 9 \ \ \ 4$$
$$Zdf = 35 \ \ 44 \ \ 36$$

so daſs der rothe Strahl mit dem ihm vorhin verbundenen grünen einen Winkel von 76 Minuten und selbst mit dem von der Mitte der Sonne kommendem grünen Strahle einen Winkel von 60 Minuten macht.

Um nun zu sehen, wie die Farbenmischung in einiger Entfernung vom Prisma seyn wird, sey $Yu = 1$, $uB = 4$. Da $cCB = 34° \ \ 44' \ \ 23''$ und $CBu = 0° \ \ 16'$ war, so ist

$uC \begin{cases} = 0{,}03245; \quad Yc = 1{,}03245 \text{ für den vom untern Rande} \\ = 0{,}03289; \quad YC = 0{,}96710 \text{ für den vom obern Rande} \end{cases}$

kommenden Strahl. dY für den grünen Strahl $= 1$; dagegen Ye für

den violetten vom obern Sonnenrande herkommenden Strahl = 0,96838. Yd für den rothen vom untern Sonnenrande herkommenden Strahl = 1,02927. Zwischen dem grünen aus dem Mittelpuncte der Sonne kommenden Strahle und dem violetten vom obern Rande kommenden ist also auf der Hinterfläche des Prismas ein Abstand 0,03162; und von eben jenem grünen bis zu dem rothen, vom untern Rande kommenden, ein Abstand = 0,02927. Daraus ergiebt sich leicht, dafs jener violette mit dem grünen aus dem Mittelpuncte in der Entfernung = 1,70, dieser rothe mit dem grünen aus dem Mittelpuncte in der Entfernung = 0,98 sich durchschneidet.

Bis zu der Entfernung = 1 kommen also für die hier vorausgesetzten Abmessungen in der Mitte des Bildes noch Strahlen von allen Farben vor, die hier dem Lichtstrahle dargebotene weifse Fläche wird also noch von allen Farben erleuchtet und erscheint daher, da wo die grünen Strahlen aus der Mitte der Sonne hinfallen, weifs. In gröfserer Entfernung findet eine so aus allen Farben zusammengesetzte Mischung der Strahlen nicht mehr statt, aber immer wird noch das grüne Sonnenbild an seiner einen Seite durch blaue, an seiner andern Seite durch gelbe Strahlen etwas von seiner Reinheit verlieren.

Es sey in einer Entfernung YS = a eine Ebene ST unter dem Winkel von 55° 16′ = YST gegen die Seite des Prismas geneigt gelegt, so fängt diese die gebrochenen Strahlen ziemlich senkrecht auf, und auf ihr ist der Abstand der einzelnen Strahlen von S durch folgende Zahlen ausgedrückt:

Es sey für den aus der Mitte der Sonne kommenden grünen Strahl dS = 20 in Vergleichung gegen Yu = 1, uB = 4; so ist der von S an gerechnete Abstand bis zu dem Puncte, wo

1. der grüne Strahl aus der Mitte der Sonne eintrifft = 11,397.

2. Wo der grüne Strahl vom obern Rande eintrifft = 11,492.

3. Wo der grüne Strahl vom untern Rande der Sonne eintrifft = 11,302.

4. Wo der violette Strahl vom obern Rande eintrifft = 11,244.

5. Wo der rothe Strahl vom untern Rande eintrifft = 11,684.

6. Wo der violette Strahl vom untern Rande eintrifft = 11,053.

7. Wo der rothe Strahl vom obern Rande eintrifft = 11,873.

Die Breite des Farbenbildes an dieser Stelle wäre also dem Durchmesser des grünen Sonnenbildes gleich = 0,19. Die ganze Länge = 11,873 — 11,053

= 0,82, viermal so grofs, und man hätte von der

Mitte des Grün	bis Ende des Grün	0,095
	bis zum nächsten Violett	0,153
	bis zum entferntesten Violett	0,344.
	bis zum nächsten Roth	0,287
	bis zum entferntesten Roth	0,476.

Das Grün nimmt, wie auch aus FRAUNHOFER's Angaben unmittelbar erhellet, nicht die Mitte des Farbenbildes ein, und die Lage der drei berechneten Bilder würde so seyn, wie die Zeichnung sie angiebt. Diese Bestimmungen bedürfen noch einer Verbesserung, weil die Oeffnung B, wodurch das Licht eingelassen wird, doch nicht ein mathematischer Punct seyn kann. Wegen dieses Umstandes ist auch dasjenige Sonnenbild, das wir ungebrochen auf einer weifsen Tafel auffangen, mit einem Halbschatten umgeben und aus demselben Grunde erscheint das Farbenbild nicht so scharf begrenzt, als es bei einem durch die äufserst enge Oeffnung eindringenden Lichtstrahle der Fall seyn sollte. Diesem Umstande wird abgeholfen, wenn man ein convexes Glas vor die Oeffnung stellt; dadurch nämlich wird bewirkt, dafs die von einem einzigen Puncte der Sonne ausgehenden Strahlen, obgleich sie durch verschiedene Puncte der Oeffnung gehen, in einem einzigen Puncte vereinigt werden, und wenn sie nicht durch das Prisma gingen und an dem richtigen Orte aufgefangen würden, ein ganz reines Sonnenbild, ohne Halbschatten und unabhängig von der Gröfse der Oeffnung, darstellen würden. Die vorigen Betrachtungen aber zeigen wohl, dafs auch die Brechung im Prisma das runde Sonnenbild rund geben würde, wenn das Sonnenlicht nur eine Farbe, nur Strahlen von gleicher Brechbarkeit enthielte, und es läfst sich daher leicht der Beweis führen, dafs das reine Sonnenbild nun auch ein von Halbschatten freies rothes Bild nach der Brechung durch das Prisma geben würde, wenn die Sonne uns nur rothe Strahlen zusendete, und, kurz, dafs wir das prismatische Bild ganz so, wie es einer sehr kleinen Oeffnung entspräche, sehen werden, wenn wir uns des Convexglases bedienen, und das Bild

Fig. 15.

an dem der Sammlung der Strahlen entsprechenden Puncte hinter dem Prisma auffangen[1].

10. Die eben geführte Berechnung zeigt, dafs der Durchmesser jedes Sonnenbildes von der Gröfse ihres scheinbaren Durchmessers abhängt; die Entfernung der Mittelpuncte des rothen und violetten Bildes aber durch die ungleiche Brechung dieser verschiedenfarbigen Strahlen bestimmt wird. Es werden daher die in Fig. 14. dargestellten Sonnenbilder weniger in einander greifen, die Farben werden reiner von einander getrennt erscheinen, wenn man ein Bild von kleinerem Halbmesser sich verschafft.

Fig. 16. Es sey B eine Oeffnung von einer Linie Durchmesser, durch welche die Sonnenstrahlen einfallen; man stellte dem durch sie einfallenden Sonnenstrahle in 40 Zoll = 480 Lin. Entfernung eine andere kleine Oeffnung C gegenüber, so kann nicht mehr die ganze Sonne ihre Strahlen auf C werfen, sondern der Sehewinkel, unter welchem von C aus die Oeffnung B erscheint, wird nur etwas über 7 Minuten betragen, und bei der vorigen Stellung des Prismas gegen die Oeffnung C würde das Sonnenbild nun wie in Fig. 17. erscheinen, wo ef das rothe, cd das grüne, ab das violette Bild darstellt, die also weit besser unvermischt erscheinen. (Fig. 17.)

Erst wenn man die Strahlen so von einander getrennt hat, kann man genaue Versuche über das homogene einfarbige Licht anstellen, z. B. die bestimmte Brechbarkeit jedes einzelnen Farbenstrahls angeben; und selbst dann können die Versuche nur da glücken, wo alles fremde Licht ausgeschlossen ist.

11. Dafs man durch die Mischung aller Strahlen wieder Weifs erhält, läfst sich aus dem Vorigen übersehen, indefs ist folgender Versuch Newton's zu wichtig, um hier übergangen zu werden[2]. Man lasse das durch das Prisma in Farbenstrahlen zerlegte Licht auf ein hinlänglich grofses convexes Linsenglas fallen, damit dieses divergirende Licht in einer gewissen Entfernung hinter dem Glase in ein Bild gesammelt werde. Hält man dann ein weifses Papier zwischen dem Glase und dem Puncte, wo das Bild sich deutlich zeigt, so sieht man noch die

---

1 Newtoni Optice p. 55.

2 Ibid. p. 112.

einzelnen Farben, nähert man es dem Vereinigungspuncte, so rücken die Farben näher an einander, und im Vereinigungspuncte sind sie völlig vermischt und zeigen ein ganz reines Weiſs, ein rundes, weiſses Sonnenbild. Jenseits des Vereinigungspunctes trennen sich die Farbenstrahlen wieder und erscheinen in umgekehrter Ordnung, so daſs das vorhin am untern Rande erscheinende Roth nun am obern Rande liegt u. s. w.

Wenn man das weiſse Papier in jenem Vereinigungspuncte aufstellt; aber einige Farbenstrahlen hindert, auf das Glas zu fallen, so erhält man nicht mehr ein weiſses Sonnenbild, sondern ein so gefärbtes Bild, wie es die Mischung der noch übrigen Farben fordert, nämlich orangefarben, wenn man die violetten, grünen und blauen Strahlen ausschlieſst, und so in allen andern Fällen.

12. Diese Behauptungen sind es, gegen welche v. Göthe mit einer auffallenden Bitterkeit in seiner Farbenlehre kämpft. Die dortigen Einwürfe einzeln zu beleuchten, ist aber unnöthig, da die Newton'sche Theorie sich durch ihre Anwendung überall rechtfertigt und nur da, wo die Thätigkeit unsers Auges einwirkt, Einiges übrig bleibt, wovon sich nicht genau Rechenschaft geben läſst.

Man hat seit langer Zeit denen, die das Copernicanische Weltsystem und die Newton'schen Attractionsgesetze nicht als richtig anerkennen wollen, nichts anders entgegen zu setzen nöthig gefunden, als daſs alle Erscheinungen am Himmel sich nach diesem Systeme und nach diesen Attractionsgesetzen voraus berechnen lassen, und daſs man nur denen Gehör zu geben brauche, die entweder in diesen Rechnungen Fehler und in ihren Resultaten Abweichungen von der Erfahrung nachweisen, oder eine neue Theorie, eben so geeignet zur pünctlichen Vorausberechnung, und eben so vollkommen mit den Erscheinungen zusammenstimmend aufstellen. Eben so, glaube ich, kann man sagen: da die Lehre, daſs die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen aus dem weiſsen Lichtstrahle entstehen und ungleiche Brechbarkeit besitzen, zur Berechnung der Fernröhre mit so entschiedenem Glücke angewandt ist, da Dollond und Fraunhofer, unstreitig die gröſsten Künstler, die man in Beziehung auf diesen Gegenstand nennen kann, in ihr die Grundlage der Kunst, farbenlose Bilder in den Fernröhren zu erhalten, fanden, und sich ihrer zu genauen rechnenden Bestimmungen bedient

haben, die mit der Erfahrung in vollkommener Uebereinstimmung sind: so hat man nur nöthig, diejenigen Einwürfe zu berücksichtigen, die in diesen Rechnungen Fehler aufdecken, und nur diejenigen neuen Theorien können hoffen, einst die Stelle der Newton'schen einzunehmen, die eben so die Grundlage zur Berechnung achromatischer Fernröhre abgeben können. von Göthe's Theorie wird auf diesen Ruhm, dafs man mit ihrer Hülfe achromatische Fernröhre berechnen könne, gewifs nie Anspruch machen, da sie nichts enthält, was je zu rechnenden, genauen Bestimmungen führen könnte, sondern sich mit Ausdrücken begnügt, die einem mathematischen Physiker immer als höchst unbefriedigend erscheinen müssen. Ich werde dies jetzt umständlicher zeigen. v. Göthe's Worte machen hier den Text, die in Klammern eingeschlossenen Bemerkungen den Commentar oder die Noten aus.

„Gegenstände durch mehr oder minder dichte Mittel gesehen, erscheinen uns nicht an der Stelle, an der sie sich nach den Regeln der Perspective befinden sollten. Wir können dies so ausdrücken, dafs der Bezug der Gegenstände verändert, verrückt werde; es zeigt sich eine Verrückung des Gesehenen. Diese Verrückung bleibt uns unkenntlich, so lange keine Grenze des Gesehenen ins Auge gefafst wird, und deshalb halten wir uns vorzüglich an die Verrückung des begrenzt Gesehenen, oder an die Verrückung des Bildes. Die Refraction kann ihre Wirkung äufsern, ohne dafs man eine Farbenerscheinung gewahr werde. So sehr auch das unbegrenzt Gesehene, eine farbenlose oder einfach gefärbte Fläche, verrückt werde, so zeigt sich keine Farbe."

[Da v. Göthe dieses als einen Einwurf gegen die Newton'sche Theorie betrachtet, so mufs ich wohl einige Worte über diesen Gegenstand sagen. Wenn ich eine völlig weifse Wand durch das Prisma ansehe, so erscheint sie allerdings weifs, und dies aus Gründen, die eben nicht so schwer verständlich scheinen. Es sey a ein Punct der Fläche, der sich übrigens durch nichts von dem neben ihm liegenden b, oder vielmehr von allen denen, die um und neben ihm liegen, auszeichnet, indem sie alle als weifs vorausgesetzt werden, und hier von keiner Grenze die Rede seyn soll. Da a weifses Licht auf das Prisma sendet, so wird dieses in seine Farbenstrahlen zerlegt, und d e sey der äufserste violette, d g der äufserst rothe Strahl. In e f

Fig. 18.

befinde sich die Oeffnung des Auges, welches also von a den violetten Strahl empfängt. Es sey ferner b ein anderer Punct der Fläche, gerade so liegend, daſs ein von ihm auf das Prisma fallender Strahl so gebrochen werde, daſs er seinen äuſsersten rothen Theil parallel mit de, in if auf das Auge sende; dann läſst sich doch wohl leicht einsehen, daſs zwischen a und b eine Reihe von Puncten liegt, die alle Arten von Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, (der eine den orangefarbenen, der andere den gelben, der dritte den grünen Strahl uud so alle zwischenliegenden) zwischen de, if, und parallell mit ihnen, dem Auge zusenden. Das Auge empfängt also in der Richtung de ein aus allen Farben gemischtes, also weiſses Licht, und da es wegen der vorausgesetzten vollkommenen Gleichheit aller Puncte gar nicht erkennt, welchen Antheil jeder der Puncte an dieser Aussendung von Licht hat, so sagt diese Empfindung uns nur, daſs wir die Gegend der Fläche, die hier unserem Auge vorliegt, die ihre Strahlen in unser Auge sendet, weiſs sehen. Richten wir unser Auge nach andern Puncten des Prismas, so lassen sich eben solche Puncte der weiſsen Fläche nachweisen, deren gemischter und vereinigter Eindruck dem Auge Weiſs zeigt.

Hierin liegt in der That ein so vollgültiger Beweis für die Behauptung, daſs mitten im Weiſs sich nichts von Farbe zeigen kann, daſs es unbegreiflich scheint, wie v. Göthe[1] hier die weiſse Wand „nach verschiedenen Stufen gefärbt“ zu sehen erwarten konnte; und nichts würde für mich und alle Newtonianer belehrender seyn, als wenn er uns genau zeigen wollte, welche Theile der Wand denn, nach einer consequenten Durchführung der Newton'schen Hypothese, roth, gelb, grün, erscheinen müſsten. Diese Anforderung ist so billig, daſs ich fest überzeugt bin, hätte jemand sie damals, als v. Göthe seine ersten Versuche machte, ihm vorgelegt, er sie nicht abgelehnt, dann aber auch gewiſs, bei der Sorgfalt, mit welcher er damals zu zeichnen gewohnt war, sich überzeugt haben würde, daſs diese Grenzen einzelner Farben mitten im unbegrenzten Weiſs nirgends zu finden sind, und daſs der Instinct[2] hier irre zu leiten im Begriff sey. Ich sehe wohl ein, daſs v. Göthe in dem,

---

1 Bd. II. S. 677.
2 Ebend. S. 678.

was ich eben vorher *für* NEWTON gesagt habe, eben so gut wie in den Newton'schen Versuchen „Taschenspielerbedingungen[1]" finden wird; ich hoffe daher auch gar nicht mit diesem Beweise mehr zu leisten, als meine Vorgänger; aber bei mathematischen Gegenständen mufs man die Bedingungen pünctlich angeben, und erhält dann auch strenge bestimmte Resultate, welche aufzusuchen freilich, wie EUKLIDES schon sagte, kein eigener Weg für Könige (und der Sänger soll ja „mit dem König gehen",) gebahnt werden kann. —]

„An den Rändern, wo sich eine weifse oder farbige Fläche gegen einen hellern oder dunklern Gegenstand abschneidet, zeigt sich eine farbige Erscheinung; — es müssen Bilder, begrenzte Flächen, verrückt werden, wenn eine Farbenerscheinung sich zeigen soll. Wird z. B. ein helles Rund auf dunkelm Grunde durch ein Linsenglas gesehen, so findet eine Verrückung nach aufsen statt, wir sehen es vergröfsert, und erblicken einen blauen Rand. Den Umkreis eben desselben Bildes können wir scheinbar nach dem Mittelpuncte hinein bewegen, wenn wir es durch ein concaves Glas betrachten, wo es verkleinert, mit gelbem Rande erscheint. Diese beiden Erscheinungen zeigen sich, die blaue sowohl als die gelbe, an und über dem Weifsen; sie nehmen, so fern sie über das Schwarze reichen, einen röthlichen Schein an. Wir haben hier in dem einen Falle den hellen Rand gegen die dunkle Fläche, in dem andern Falle den dunkeln Rand gegen die helle Fläche scheinbar geführt, eins durch das andere verdrängt, eins über das andere weggeschoben, — und darin liegt der Grund der Farbenerscheinung. Diese Umstände kommen nun beim Prisma und überall wieder vor. Bewegen wir eine dunklere Grenze gegen das Helle, so geht der gelbe breitere Saum voran, der schmälere gelbrothe Rand folgt mit der Grenze; rücken wir eine helle Grenze gegen das Dunkle, so geht der violette Saum voraus und der schmälere blaue Rand folgt. Diese Farben lassen sich aus der Lehre von trüben Mitteln bequem ableiten. Denn wo der voreilende Saum des trüben Nebenbildes sich vom Dunkeln über das Helle zieht, erscheint das Gelbe; umgekehrt, wo eine helle Begrenzung über die dunkle Umgebung hinaustritt, erscheint das Blaue. Die voreilende Farbe ist immer die breitere. So greift die gelbe

---

1 Ebend. S. 681. Z. 4. v. u.

über das Licht mit einem breiten Saume, da aber, wo sie an das Dunkle grenzt, entsteht nach der Lehre der Steigerung und Beschattung, das Gelbrothe als ein schmälerer Rand u. s. w."

[Dafs alle diese Erscheinungen sich nach Newton's Theorie nicht blofs mit vagen Worten erklären lassen, sondern dafs der Weg der Lichtstrahlen sich genau berechnen läfst, ist aus dem Vorigen schon bekannt. Aber ich gestehe, dafs ich nie habe einsehen können, wo denn bei v. Göthe die eigentliche Erklärung dieser dioptrischen Farben liegt. Dieses trübe Nebenbild ist es ja gerade, dessen Entstehung erst erklärt werden soll, und keinesweges dadurch erklärt wird, dafs uns S. 85 mit vieler Kunst begreiflich gemacht wird, es kämen ja auch in andern Fällen Nebenbilder vor. Wie diese Nebenbilder im Glasspiegel und sonst entstehen, das ist bekannt; aber indem wir unser Auge auf den Spiegel richten, glaubt der Verf. der Farbenlehre, hätten wir die Frage vergessen, ob denn jene trüben Farbenbilder eben so entstehen? — Diese trüben Bilder sind es eben, die erklärt werden sollen. Freilich findet sich S. 88. eine Erklärung, die mit dem berühmten horror vacui die allergröfste Aehnlichkeit hat, aber niemand befriedigen kann. Sie lautet so: „Es entsteht also, wenn die Refraction auf ein Bild wirkt, an dem Hauptbilde ein Nebenbild, und zwar scheint es, dafs das wahre Bild einigermafsen zurückbleibe," „„und sich dem Verrücken gleichsam widersetze."" — Mit der Refraction geht es also ungefähr so zu: Einige vom Bilde ausgehende Lichtstrahlen sind nachgiebiger als andre, und lassen sich zu der gesammten Fortrückung veranlassen, statt dafs andre etwas weniger geneigt sind, der Verrückung nachzugeben, oder mit Newton's Worten, jene sind stärker brechbar, werden mehr von ihrem Wege abgelenkt, als diese, und zwar sind jenes die violetten und blauen, dieses die gelben und rothen. Das was Göthe sagt, ist also unter versteckten Ausdrücken am Ende gerade nichts anders, als die Newton'sche stärkere Brechbarkeit. Denn wenn ein Nebenbild dem Hauptbilde bei der Verrückung vorauseilt, so ist es um mehr als dieses verrückt; da nun v. Göthe den Ausdruck *Verrückung* statt *Brechung*, *Refraction*, anwendet, so sage ich mit gleichem Rechte, das Nebenbild ist mehr gebrochen, als das Hauptbild. Nun sehen wir dies vorauseilende Nebenbild nur da, wo es über das Hauptbild vorgreift, also nur einen voreilenden Rand des mehr gebrochenen

Nebenbildes, welcher violett und blau ist. Da wo Hauptbild und Nebenbild zusammen fallen, sehen wir das Bild in vollem Lichte (weiſs), aber wo die am trägsten zurückgebliebenen Theile des Bildes wieder an der hintern Seite über das, was nun einmal Nebenbild heiſsen soll, vorragen, da zeigen sich, als die der Verrückung am wenigsten nachgebenden, als die am wenigsten gebrochenen Strahlen, die gelben und rothen. — — Wenn ich mir so v. Göthe's dunkle Rede verdeutliche, so kann ich sie besser fassen; aber in dieser Uebersetzung würde denn freilich auch dieser Theil der v. Göthe'schen Farbenlehre völlig über den Lethe gesetzt. Da sich alles andere in der Göthe'schen Farbentheorie auf diese Betrachtungen stützt, da die stärkere Farbenzerstreuung als ein durch chemische Mittel bewirktes weiteres Voreilen des Nebenbildes angesehen werden kann, und damit die Achromasie diesem Begriffe vom Nebenbilde angereihet wird: so ist es nicht nöthig, länger hiebei zu verweilen, und ich gehe daher zu andern Erfahrungen über das prismatische Farbenbild über.]

13. Der Raum, den jede einzelne Farbe im prismatischen Sonnenbilde einnimmt, ist ungleich, und selbst im Verhältniſs gegen die Länge des ganzen Bildes ungleich, wenn man Prismen von verschiedener Materie nimmt[1]. Die Abmessungen, welche Newton für die Theile des Bildes, die sich als Roth, Orange u. s. w. zeigen, angiebt, können daher nur als ein Beispiel dienen, in welcher Ordnung die Farben sich an einander reihen. Hätte Newton nicht in der nahen Uebereinstimmung zwischen den Verhältnissen dieser Räume und den Schwingungszeiten der eine Tonleiter bildenden Töne ein Naturgesetz zu erkennen geglaubt, so würde er vielleicht nicht so übereilt die Behauptung, daſs keine Aufhebung der Farbe bei der Brechung und eben deshalb kein achromatisches dioptrisches Fernrohr möglich sey, ausgesprochen haben. Newton legt den einzelnen Farben folgende Ausdehnung bei: Violett nimmt 80 Theile, Indigo 40, Blau 60, Grün 60, Gelb 48, Orange 27, Roth 45 Theile ein, wenn man das ganze Spectrum in 360 Theile zerlegt. Könnte man zugleich die Lichtstärke, die in jedem einzelnen Theile des Farbenbildes statt findet, angeben, so lieſse sich über die Verhältnisse, in welchen die Far-

1 Vergl. Art. *Zerstreuung der Farben.*

benstrahlen gemischt seyn müssen, um Weifs zu geben, etwas Genaueres bestimmen[1].

14. Welche Theile des Farbenbildes der Sonne am meisten Licht und welche am wenigsten Licht besitzen, hat Herschel untersucht[2]. Er bediente sich eines Mikroskops, womit er verschiedene Gegenstände, die bald durch die eine, bald durch die andre Art von Farbenstrahlen erleuchtet waren, betrachtete. Allemal zeigten sich die feinen Puncte, worauf er seine Aufmerksamkeit richtete, am stärksten erleuchtet, wenn sie sich in den gelben Lichtstrahlen befanden, am besten dann, wenn man sie in die Gegend des Farbenbildes brachte, wo das vollkommene Gelb in Grün überzugehen anfängt. Wenn man sich von dieser Gegend nach einer oder der andern Seite entfernte, so war die Erleuchtung schwächer, im Orange schwächer als im Gelb, im Roth schwächer, als im Orange, und eben so im Grün nicht ganz so stark als in jenem Uebergange vom Gelb zum Grün, im blauen Lichte war die Erleuchtung immer schwächer, je mehr man sich von der Mitte des Farbenbildes entfernte, im Violett aber schwächer als in irgend einem der übrigen Farbenstrahlen. Herschel bemerkt zugleich, dafs die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen sich dadurch zeigte, dafs die zum deutlichen Sehen nöthige Stellung des Instruments bei jeder Farbe eine andere war, und dafs man nur dann die glänzenden Puncte an einem Nagel oder anderm Metall als mit der *einen* Farbe glänzend erblickte, die man auffallen liefs, wenn man die Beimischung anders gefärbter Strahlen sorgfältig vermied.

Fraunhofer hat diese Ungleichheit der Intensität noch genauer zu bestimmen gesucht, weil sie bei achromatischen Fernröhren zu berücksichtigen ist, wenn man die durch verschiedene Farbenstrahlen mit ungleicher Stärke bewirkte Färbung des Bildes aufheben will. Er brachte in der Ocularröhre eines Fernrohrs einen Metallspiegel an, der durch eine Lampenflamme erleuchtet wird, und dieses, in senkrechter Richtung gegen die Ocularröhre einfallende Licht, indem er es unter einer Neigung von 45 Graden auffängt, gegen das Ocular unter

1 Vergl. No. 19.

2 Herschels Unters. über die Natur der Sonnenstrahlen, übers. v. Harding. Celle 1801. S. 13.

eben dem Winkel zurückwirft. Dieser Spiegel, den man von der Flamme erleuchtet sieht, nimmt die Hälfte der Röhre ein, während durch die andre Hälfte des Gesichtsfeldes eine der Farben des prismatischen Sonnenbildes gesehen wird. Die erleuchtende Flamme kann verschiedene Entfernungen von jenem Spiegel erhalten, wodurch dann die Erleuchtung des Spiegels stärker oder schwächer wird, und man kann folglich eine solche Entfernung der Flamme wählen, wobei der Eindruck, den das Licht derselben durch das Ocular gesehen macht, eben so stark ist, als der Eindruck einer durch die andre Hälfte des Gesichtsfeldes gesehenen Farbe des prismatischen Sonnenbildes. Die Entfernung der Flamme giebt dann auf die bekannte Weise das Mafs der Erleuchtung des Spiegels, da diese dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional ist; eben dadurch aber erhält man auch die Intensität des verglichnen Farbenstrahls. FRAUNHOFER bemerkt, dafs es zwar etwas schwer ist, Licht von verschiedenen Farben mit einander zu vergleichen; aber einige Uebung erleichtert diese Vergleichung. Die Gleichheit der Intensität beider Lichter erkennt man daran, dafs die nach der unveränderten Lage des Oculars scharf sichtbare Grenze des Spiegels dann am wenigsten deutlich ins Auge fällt, wenn die Intensität des Farbenstrahles mit dem Lichte, das der Spiegel zurückwirft, gleich ist. Die Versuche wurden mit einigen Abänderungen mehrmals wiederholt, unter andern auch so, dafs das Lampenlicht durch ein matt geschliffenes Glas auf den Spiegel fiel[1], und durch die andere Hälfte des Fernrohrs eine von dem Farbenstrahle erleuchtete weifse Fläche gesehen wurde. Der hellste Ort des Farbenbildes liegt um $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ der ganzen Länge desselben vom rothen Endpuncte entfernt, und die graphische Darstellung zeigt, wie die Verhältnisse der Intensität in allen Theilen des Farbenbildes gefunden wurde[2]. Folgende Zahlen geben diese Verhältnisse der Intensitäten an:

Fig. 19.

bei B = 0,032.
bei C = 0,094.
bei D = 0,64.

---

1 Diese Einrichtung scheint noch besser, als die vorige, weil hier im eigentlichen Sinne die Erleuchtung verglichen wird, statt dafs bei dem Beobachten der Flamme selbst, die claritas visa der Flamme zur Vergleichung dient.

2 G. LVI. 301.

grösste = 1,00.
bei E = 0,48.
bei F = 0,17.
bei G = 0,031.
bei H = 0,006.

Also ist das gesammte Licht in den einzelnen Theilen des Farbenbildes etwa so vertheilt, daſs

im Raume BC = 0,021 des in DE vorhandenen
CD = 0,299 — — — — —
DE = 1,000 — — — — —
EF = 0,328 — — — — —
FG = 0,185 — — — — —
GH = 0,035 — — — — —

oder in Vergleichung gegen die ganze Summe des Lichtes

auf BC = 0,0113 kommt,
— CD = 0,1599
— DE = 0,5354
— EF = 0,1757
— FG = 0,0990
— GH = 0,0187

Fraunhofer bemerkt, daſs die Grenzen des ganzen Farbenbildes sich schwer angeben lassen, indem man bei recht lebhaftem, auf das Prisma fallendem Lichte, wenn man die hellern Theile des Farbenbildes verdeckt, um das Auge nicht durch sie zu blenden, noch weit über die gewöhnlich dem Auge sichtbaren Grenzen hinaus ein Roth an dem einen und ein Violett an dem andern Ende des Farbenbildes gewahr wird. Und dieses stimmt mit dem überein, was der jüngere Herschel bei dem oben (No. 7) erzählten Versuche fand, daſs nämlich das durch jene rothen Gläser gesehene runde Sonnenbild so weit am Ende des prismatischen Farbenbildes liegt, daſs, wenn man den Ort desselben auf dem Papiere bezeichnet, wo das Farbenbild aufgefangen wird, dieser Ort zum Theil auſserhalb der Grenze desjenigen Bildes liegt, welches man, wenn das Auge zugleich auf die glänzendern Farben sieht, bemerkt. Dort also, wo ein rothes Glas das Auge vor der Blendung durch die glänzendern Farben sichert, welche von diesem Glase nicht durchgelassen werden, empfindet das Auge die Gegenwart dieser schwachen rothen Strahlen, die am äuſsersten Ende des Farbenbildes liegen.

15. Fraunhofer's genaue Untersuchung des Farbenbildes zeigte ihm noch eine andre bis dahin ganz unbekannte Eigenschaft desselben. Wenn man so strenge als es für die Berechnung achromatischer Fernröhre nöthig ist, die Brechung der einzelnen Farbenstrahlen in verschiedenen Glasarten zu bestimmen wünscht, so findet man dieses wegen der unbestimmten Grenze der einzelnen Farben nicht wenig schwierig. Es war daher eine erwünschte Entdeckung, als Fraunhofer in dem durch das Prisma gesehenen Lampenlichte zwischen dem Roth und Gelb einen hellen scharfbegrenzten Streifen bemerkte, der sich immer an derselben Stelle findet, und aus einfachem, nicht zerlegbarem Lichte zu bestehen scheint. Ein ähnlicher, jedoch schwächerer, Streifen läfst sich auch im Grün wahrnehmen. Eben solche, aber viel zahlreichere bestimmte dunklere und hellere Streifen sieht man nun auch im Sonnenlichte, und wenn man sie bei dem Gebrauche verschiedener Prismen ins Auge fafst, so hat man immer dieselben Puncte im Farbenbilde, und kann daher die verschiedene Brechung für verschiedene Glasarten in Beziehung auf sie genau angeben. Fraunhofer entdeckte diese Streifen im Farbenbilde, indem er vor dem Fernrohre eines Theodoliten ein Prisma von Flintglas aufstellte, auf welches durch eine schmale, etwa 15 Sec. Breite und 36 Min. hohe Oeffnung in dem 24 Fufs vom Prisma entfernten Fensterladen, das Sonnenlicht fiel. Der Winkel des Prisma's war ungefähr 60 Gr. und das Prisma stand so vor dem Objectiv des Theodolitfernrohrs, dafs der Winkel des einfallenden Strahls dem des gebrochnen Strahls gleich war.

Bei dieser Stellung des Instruments zeigte sich in dem Farbenbilde und senkrecht auf die Längenausdehnung desselben eine Menge dunklerer Linien, deren einige fast ganz schwarz erschienen. Diese Linien zeigten sich bei allen verschieden brechenden Prismen und scheinen sich immer genau an demselben Orte, die eine im Blau, die andre im Roth u. s. w. zu befinden; sie waren zwar bei veränderter Oeffnung im Fensterladen oder bei veränderter Ausdehnung des Farbenbildes mehr oder minder leicht zu erkennen; aber ihr Verhältnifs, ihre Lage gegen einander und gegen die Farben blieb immer ungeändert. Wenn man durch Drehung des Prisma's den Einfallswinkel änderte, so mufste die Stellung des Oculars verändert werden, um sie deutlich zu sehen, und eben so mufste diese Aenderung statt finden, wenn

man bald die im rothen, bald die im violetten Theile liegenden Linien deutlich sehen wollte. Die Figur[1] zeigt, so gut es in einer kleinen Zeichnung möglich ist, diese Linien im Sonnenbilde. Ungefähr bei A ist das rothe, bei I das violette Ende des Farbenbildes, jedoch ohne ganz scharfe Grenze; bei sehr hellem Sonnenlichte sieht man, wenn von dem hellen Raume CG kein Licht ins Auge kommt, das Farbenbild viel länger. Die genauere Beschreibung der Linien theile ich hier nicht mit, sondern bemerke nur, daſs nach FRAUNHOFER's sorgfältiger Untersuchung diese Linien nicht durch Beugung u. dgl. entstehen, sondern in der Natur des Lichtes selbst liegen. —

Fig. 19.

Wie diese dunkleren Linien zu erklären sind, ist wohl noch nicht mit Sicherheit zu bestimmen[2]. Nach den sonst bekannten Erfahrungen schien es, daſs die Sonnenstrahlen aus verschiedenen Farbenstrahlen beständen, die in stetiger, ununterbrochener Folge an Brechbarkeit verschieden wären; nach dieser neuen Erfahrung scheint es in Gemäſsheit der Newton'schen Theorie, als ob die Brechbarkeit nicht nach stetiger Folge verschieden wäre, sondern hier und da sprungweise fortschreite, woher denn allerdings, wenn der auffallende Strahlenbündel sehr schmal ist, Lücken entstehen müſsten[3].

16. Die einzelnen Farbenstrahlen sind in ungleichem Grade erwärmend. HERSCHEL bemerkte dieses zuerst, indem er unter den stark verdunkelnden Gläsern im Telescop einige fand, die viel Wärme durchlieſsen, während andre bei gleich viel durchgelassenem Lichte dieses nicht thaten; er stellte daher eine Reihe von Versuchen an, wo im verfinsterten Zimmer das Thermometer bald in dem einen, bald in dem andern Farbenstrahle des durch einen engen Spalt einfallenden und im Prisma (dessen Kanten der Längenrichtung des Spaltes parallel waren) gebrochnen Sonnenstrahlen aufgestellt wurden. Er fand, indem er unter drei Thermometern das eine auſserhalb der Farbenstrahlen, ein

---

1 Entlehnt aus FRAUNHOFER's Originalabhandlg. und SCHUMACHER's astron. Abh. II. wo sie in gröſserm Maſsstabe gezeichnet ist.

2 Eine sehr dunkel ausgedrückte Meinung von v. Grotthuſs findet sich bej Gilb. LXI. 60. Fraunhofer selbst bringt sie mit der Theorie der Interferenzen und der Lichtwellen in Verbindung.

3 Künstliches Licht giebt im prismatischen Bilde oft noch viel merklichere Unterbrechungen, wie unter andern Talbot im Edinb. Journ. of Science. IV. IX. zeigt.

andres oder auch beide andere in einem bestimmten Farbenstrahle aufstellte, dafs im Mittel das Thermometer in 16 Min. durch die Einwirkung des rothen Strahles um 6⅞ Gr. in den grünen Strahlen um 3¼ Gr. in den violetten um 2 Gr. F. stieg. Aber obgleich im Roth die Erwärmung gröfser als in den übrigen Farbenstrahlen war, so lag doch das Maximum der Erwärmung nicht im Roth, sondern darüber hinaus, wo schon keine Farbe mehr kenntlich war. Liefs man nämlich auf das kleine Tischchen, worauf die Thermometer sich sich befanden, nach und nach die einzelnen Farbenstrahlen fallen, und beobachtete das in der Brechungsebene liegende Thermometer nun auch dann noch, wenn der rothe Farbenstrahl das Tischchen nicht mehr erreichte, also wenn das Thermometer da stand, wo Strahlen noch minder brechbar als die rothen hin gelangen müfsten, wofern es solche gäbe, so stieg das Thermometer in 10 Min. 6½ Gr., wenn es ½ Zoll von der Grenze des sichtbaren Roth abstand, 5¼ Gr. wenn es 1 Zoll, 3½ Gr. wenn es 1½ Zoll, von dieser Grenze entfernt war. Herschel schlofs hieraus, dafs das Maximum der Erwärmung aufserhalb des Roth liege, da wo Strahlen, weniger brechbar, als die rothen hinfallen, oder wenn wir auch nach Fraunhofer und dem jüngern Herschel annehmen, dafs ein recht scharfsehendes, im Dunkel ungeblendetes Auge hier vielleicht noch einen matten tief rothen Lichtschimmer sieht, doch gewifs da, wo nur die äufserste, höchst schwach erleuchtenden rothen Strahlen hin gelangen. Herschel versicherte sich noch durch andre Versuche, dafs wirklich solche aufserhalb des Farbenbildes auffallende Wärmestrahlen vorhanden sind, indem er ein Thermometer so aufstellte, dafs es durch Zurückwerfung solcher minder brechbarer Strahlen, die nämlich von einem jenseits des Roth gehörig aufgestellten Spiegel reflectirt werden mufsten, getroffen wurde, und eine Erwärmung beobachtete. Er bestätigte dieses Resultat, indem er einen zur Hälfte bedeckten Hohlspiegel so stellte, dafs der unbedeckte Theil ganz aufserhalb der Grenze des Farbenbildes lag und also nur von jenen dunkeln Strahlen getroffen werden konnte; dennoch stieg ein im Brennpuncte gehaltenes Thermometer in 1 Min. um 19 Grade[1].

Spätere Beobachter haben diese bis über das Roth hinaus-

---

1 Herschel's Unters. über die Sonnenstrahlen, übers. von Harding und in Gilb. Ann. VII. 137. X. 71.

reichenden Wärmestrahlen nicht finden können, und Leslie spricht mit einer eben so unnöthigen als ungebührlichen Heftigkeit dagegen[1]. Er glaubt die sämmtlichen Versuche wären fehlerhaft, und bei gehöriger Sorgfalt habe er selbst gar keine Erwärmung aufserhalb des Farbenbildes gefunden.

Diese Einwürfe zu prüfen, stellte Englefield[2] eine Reihe von Versuchen an. Er liefs auf eine Glaslinse von 4 Zoll Oeffnung und 22 Zoll Brennweite, die durch einen Pappenschirm gegen die übrigen Strahlen geschützt wurde, nur diejenigen Farbenstrahlen, die durch eine ½ Zoll weite, 3 Zoll lange Oeffnung in jenem Schirme durchgelassen wurden, auffallen, deren Wirksamkeit untersucht werden sollte. Er stellte dann ein Thermometer im Focus auf, und liefs von den durch das Prisma zerstreuten Strahlen bald den einen, bald den andern Theil auf die Oeffnung im Schirm und so auf die Linse fallen. Der blaue Strahl brachte in 3 Min. das Thermometer nur 1 Gr. höher, der grüne in eben der Zeit 4 Gr., der gelbe 6°, der rothe in 2½ Min. 15½ bis 16 Gr., und aufserhalb des Farbenbildes nahe an der Grenze des Roth stieg das Thermometer in 2½ Min. 18 Gr. F. Andere Versuche fielen im Wesentlichen eben so, nämlich beweisend für Erwärmung da, wo kein Roth des Farbenbildes mehr sichtbar war, aus; indefs zeigte sich, selbst wenn das ganze Farbenbild auf den Schirm fiel, und die Oeffnung ⅛ Zoll von der sichtbaren Grenze des Roth entfernt lag, im Brennpuncte noch ein schwachrother Schimmer, also gesammelt aus Strahlen, die das Auge auf dem Schirme nicht bemerkte.

Die Wiederholung der Versuche über die ungleiche Erwärmung durch verschiedenfarbige Strahlen, welche wir Berard verdanken[3], hat vor den frühern den Vorzug, dafs sie mit einem Heliostat angestellt sind, einem Instrumente, welches bei dem Fortrücken der Sonne das Sonnenbild immer in demselben Puncte erhält. Berard fand die Erwärmung vom Violett bis zur äufsersten Grenze des Roth zunehmend; das Maximum der Wärme also zwar nicht aufser dem Farbenbilde, aber doch an der äufsersten Grenze desselben, und von da an aufserhalb des sichtbaren Farbenbildes schnell abnehmend. Ruhland

---

1 G. X. 90.
2 Ebend. XII. 399.
3 Ebend. XLVI. 382.

schliefst aus eigenen Versuchen, dafs der Ort der gröfsten Wärme bei Prismen aus verschiedenen Materien verschieden sey; bei einigen Glasprismen und bei einem Prisma aus Borax lag er über das Roth hinaus, bei andern im Roth, und bei Prismen, die mit flüssigen Körpern gefüllt waren, bei einigen im Gelb[1].

17. Auch die chemischen Wirkungen der verschiedenen Farbenstrahlen sind ungleich. Scheele[2] hatte schon bemerkt, dafs das Hornsilber (Chlorsilber, salzsaures Silber), welches im Sonnenlichte schwarz wird, diese Veränderung eher und stärker leidet, wenn man es dem violetten Lichtstrahle, als wenn man es den übrigen Lichtstrahlen aussetzt; der violette Strahl, so lichtschwach er ist, und so sehr er in Rücksicht auf die erwärmende Kraft hinter den übrigen zurücksteht, reducirt also das Silberoxyd am schnellsten.

Ritter[3] hat die Erscheinungen noch genauer untersucht und gefunden, dafs die stärkste Reduction aufser dem Violett, wo das sichtbare Farbenbild schon aufgehört hat, statt findet, dafs ihre Stärke von da an durch das Violett und Blau sehr abnimmt, und nahe hinter dem Grün ganz aufhört, im Orange und Roth schien eine Oxydation einzutreten. Fischer findet[4] die stärkere Schwärzung des Hornsilbers im blauen und violetten Strahle und auch eine deutliche Färbung aufserhalb des Farbenbildes jenseits des violetten Strahles völlig bestätigt; der rothe Strahl brachte selbst in 2 Stunden keine Färbung hervor, obgleich diese vom blauen Strahle in wenig Minuten bewirkt wurde. Eben diesen Unterschied fand Fischer, wenn man unter blauen und rothen Gläsern das salzsaure Silber der Einwirkung des Lichtes aussetzte, nur unter jenem zeigte sich die Schwärzung. Dafs im rothen Strahle eine entgegengesetzte chemische Wirkung eintrete, hält Fischer für nicht erwiesen.

Wollaston's etwas anders angestellten Versuche verdienen gleichfalls erwähnt zu werden[5]. Guajacharz, in Alkohol aufge-

---

1 Ruhland über die polarische Wirkung des gefärbten heterogen Lichts. S. 50.

2 G. VII. 149.

3 Ebend. XII. 408.

4 Fischer über die Wirkung des Lichts auf das Hornsilber. Nürnberg, 1814. S. 56.

5 G. XXXIX. 294. Ruhland über polarische Wirkung des Lichts. S. 24.

löst, giebt eine Tinctur, die unter Einwirkung des Lichtes grün wird. Da die Farben des durch ein Prisma zerstreuten Sonnenlichtes keine Wirkung zeigten, so concentrirte Wollaston sie, indem er eine Glaslinse von 7 Zoll Durchmesser so bedeckte, dafs nur ein sehr schmaler Rand die Lichtstrahlen empfing. Dieser Ring vereinigt bekanntlich die rothen Lichtstrahlen in einem andern Brennpuncte, als die violetten. Fing man das Bild näher beim Glase, als wo der Brennpunct lag, auf, so war es wie allemal, innen violett, aufsen roth gefärbt; bei 24½ Zoll Entfernung war der Brennpunct am glänzendsten; in gröfserer Entfernung war das Farbenbild wieder ringförmig und am äufsern Rande violett, am innern roth. Setzte man diesen Strahlen das salzsaure Silber aus, so entstand in kleinern Entfernungen als 22¼ Zoll ein geschwärzter Ring; in 22¼ Zoll ein Fleck, der bei 23 Zoll Entfernung am kleinsten war; in 24¼ Zoll Entfernung wurde die geschwärzte Stelle wieder ringförmig. Auch bei dem mit Guajactinctur bestrichenen Papier zeigte sich das Grün am schnellsten und schönsten in 23 Zoll Entfernung; in kleinern Entfernungen war die gefärbte Stelle gröfser und blässer, in 22½ Zoll Entfernung entstand ein grüner Ring mit farbenlosem Mittelpuncte, in 24¼ Zoll Entfernung, (also in dem am meisten erleuchteten Brennpuncte) erfolgte in der den frühern Beobachtungen immer gewidmeten Zeit von 1 Min. fast gar keine Wirkung. Nahm man Guajacpapier, das schon an der Sonne grün geworden war, und brachte dieses in 25¼ Zoll Entfernung hinter der Linse an, so ging die Farbe in das Blafsgelb zurück, welches sie vor der Einwirkung des Lichtes hat; indefs bemerkt Wollaston, dafs diese Wirkung, die allerdings eine entgegengesetzte Beschaffenheit derjenigen Strahlen anzudeuten scheint, die in der Gegend des Roth liegen, auch durch blofse Hitze hervorgebracht wurde. Die wirksamsten Strahlen zur Färbung des Guajacpapiers waren also die am stärksten gebrochenen, die sich schon in 23 Zoll Entfernung in einem Focus sammelten, statt dafs die glänzendsten ihren Focus erst in 24¼ Zoll Entfernung hatten.

Young liefs die zwischen Glasplatten sich zeigenden Farbenringe (nach Newton's Ausdruck, die durch Anwandlungen entstandenen) ihr Bild auf ein Papier werfen, das mit einer Silberauflösung [1]

---

1 G. XXXIX. 283.

bestrichen war, und erhielt geschwärzte Ringe, die mit den violetten Ringen zusammen zu treffen schienen.

BERARD[1], der sich durch mehrere Versuche von dieser ungleichen chemischen Wirksamkeit der Farbenstrahlen überzeugte, stellte unter andern Versuchen auch den an, dafs er die Farben vom Grün bis zum Violett, so wie sie durch das Prisma hervorgebracht waren, vermittelst *einer* Linse sammelte und eine *zweite* Linse zum Sammeln der gelben, orangefarbenen, rothen und über das Roth hinaus etwa noch vorhandenen Strahlen anwandte. Im Brennpuncte der ersten Linse schwärzte sich das salzsaure Silber in 10 Minuten sehr merklich, im Brennpuncte der zweiten, wo Licht und Hitze viel lebhafter waren, konnte selbst in zwei Stunden noch kein Erfolg bemerkt werden.

Nach SEEBECK[2] erfolgt unter einer blauen Glocke die Zersetzung einer Mischung aus Chlorgas und Wasserstoffgas in sehr kurzer Zeit; unter einer gelbrothen Glocke erfolgt sie selbst in längerer Zeit nur höchst unvollkommen. Der Bononische Leuchtstein[3] wird nach SEEBECK's Beobachtungeu am besten im violetten Strahle und selbst noch darüber hinaus leuchtend, im Blau nahm sein Glanz wenig ab, in den folgenden Strahlen trat das Leuchten unvollkommener ein. Hinter blauem Glase wurde er sogleich leuchtend, hinter gelbrothem verlor der schon leuchtende bononische Phosphor sein Licht. RUHLAND[4], dessen zahlreiche Versuche ich sogleich umständlicher erwähnen will, fand diese Beobachtungen über den bononischen Phosphor fast vollkommen bestätigt, doch konnte er zwischen dem schwachen Leuchten im gelben und rothen Farbenstrahle keinen Unterschied wahrnehmen. RUHLAND tadelt an den frühern Versuchen, dafs man auf die ungleiche Intensität des verschiedenfarbigen Lichtes nicht genug Rücksicht genommen habe, welchen Fehler er vermied, indem er mit LESLIE's Photometer die Grade der Erleuchtung bestimmte. Er bediente sich eines Apparats, wo in fünf von einander getrennten Abtheilungen das Licht durch Gläser von 6 Zoll Durchmesser einfiel, die violett, blau, grün,

---

1 G. XLVI. 385.

2 Schweigg. II. 265. Ruhland. S. 11.

3 v. Göthe Farbenlehre. II. 705.

4 Ruhland über die polarische Wirkung des gefärbten heterog. Lichts. S. 26.

gelb, hochroth waren; das Gelbe liefs am meisten Licht durch, das Grüne etwas weniger als die drei übrigen, die sehr genau gleich waren. Seine zahlreichen Versuche geben im Allgemeinen das Resultat, dafs man die Wirkung der am meisten brechbaren Strahlen weder eine oxydirende noch eine desoxydirende nennen könne, sondern dafs die Wirkung hier, wie beim unzerlegten Lichte, nach Verschiedenheit der dem Lichte ausgesetzten Körper verschieden ist. Aber diejenige Wirkung, welche das unzerlegte Licht auf verschiedene Körper ausübt, die doch nur dadurch scheint hervorgebracht zu werden, dafs es von den Körpern in ihre Substanz aufgenommen wird, tritt bei den stärker gebrochenen Strahlen, weil sie am meisten angezogen werden, im stärkern Grade ein. Die minder gebrochenen zeigen nicht eigentlich die entgegengesetzte Wirkung, sondern die Wirkung ist zusammengesetzt aus derjenigen, welche das in mehr oder minderer Menge absorbirte Licht hervorbringt (und diese Menge ist bei den stärker brechbaren Strahlen gröfser), und aus der, welche Folge der Cohäsions-Erhöhung ist, die in dem Grade gröfser ist, als ein Körper gröfsere Schwierigkeit hat, das ihn treffende Licht seiner Elasticität zu berauben. Die von dem letzten Umstande herrührenden Erscheinungen, die nämlich von einer gesteigerten Cohäsion abhängen, kommen mehr den nicht so stark brechbaren Strahlen zu; deshalb (glaubt Ruhland) färben auch diese minder brechbaren Strahlen noch in einigem Grade das salzsaure Silber, entfärben aber zum Theil das schon geschwärzte, weil sie die Cohäsion indirect so erhöhen, dafs ein Theil des absorbirten Lichtes wieder ausgetrieben wird.

Von Ruhland's Versuchen hebe ich nur einige der auffallendsten aus. Die Aloë-Tinctur gehört zu den vorzüglichsten Reagentien, um die Einwirkung des Lichts zu zeigen. Frisch bereitet, hat sie eine bleiche, gelbrothe Farbe, setzt man sie aber auch nur kurze Zeit dem Lichte hinter violetten und blauen Gläsern aus, so wird sie dunkel blutroth, während in den minder brechbaren Strahlen auch nicht die geringste Farbenänderung eintritt. In jenen Strahlen bemerkt man auch Absorption des Sauerstoffgas, die in diesen ganz fehlt. — Rothes Quecksilberoxyd hielt sich in den minder brechbaren Strahlen ganze Monate unverändert, in den stärker brechbaren ward es bei hinreichend starkem Lichte bald so reducirt, dafs sich laufendes Quecksilber ansammelte. — Nufs-Oel, Mohn-Oel, Oliven-Oel

bleichten in den stärker brechbaren Farben (hinter violetten und blauen Gläsern) und wurden beinahe wasserhell, dabei absorbirten sie Sauerstoffgas. In den minder brechbaren Strahlen verhielten sich diese Oele wie im Dunkeln.

Auf die Pflanzen zeigt sich eine auf ähnliche Weise ungleiche Einwirkung. In den brechbarern Strahlen kehren die Blätter sich gegen das Licht, wie wir es sonst an Pflanzen am Fenster gewohnt sind; in den minder brechbaren Strahlen (hinter gelbem und rothem Glase) kehrten sie sich vom Lichte ab und ihre Farbe ward bleicher. — Brachte man zarte Pflanzen der Mimosa pudica während ihres nächtlichen Pflanzenschlafes in völliges Dunkel, und dann am Morgen, wenn die farbigen Gläser schon völlig von der Sonne beschienen wurden, die eine Pflanze hinter blaue oder violette, die andere hinter gelbe und rothe Gläser, so öffneten die Blätter sich hinter den rothen schneller als hinter den blauen, die letztern aber blieben so lange ausgebreitet, als sie vom Lichte beschienen wurden und schlossen sich des Nachts vollkommen wieder, statt dafs die im rothen Lichte stehenden sich nach einigen Tagen rückwärts bogen, so dafs die Oberflächen der Blätter nach aufsen zu stehen kamen, sich Nachts unvollkommen schlossen und ihre Reizbarkeit zu verlieren schienen.

Die Frage, warum der violette Strahl sich hier am wirksamsten zeige, beantworten die Vertheidiger der Emissionstheorie durch die Bemerkung, dafs schon die stärkere Brechbarkeit auf eine nähere Verwandtschaft des violetten Lichts mit den Körpern hindeute; die Vertheidiger der Undulationstheorie dagegen glauben, die breitern Wellen, die sich uns im violetten Strahle kenntlich machten, wirkten mit mehr Gewalt auf die Körper[1].

18. Ob der violette Lichtstrahl dem Stahle die Eigenschaften des Magnetes ertheile, scheint immer noch nicht ganz entschieden. Morichini glaubte diese Magnetisirung zu Stande zu bringen, indem er Stahlnadeln blofs dem violetten Strahl aussetzte: er sagt aber nicht deutlich, wie er den Pol, welcher Nordpol werden soll, bestimme, indefs scheint das Ende, welches dem magnetischen Norden am nächsten lag, Nordpol geworden zu seyn. Barlocci glaubte den Erfolg schneller und

1 Nobile sul magnetismo. Modona 1824. p. 178.

bestimmter hervorgehen zu sehen, wenn er das concentrirte Bild von der Mitte nach dem Nordende der Nadel, und eben so nachher von der Mitte nach dem Südende fortbewegte, und so ein dem Bestreichen ähnliches Verfahren anwandte. Diese[1] nicht einmal genau erzählten und zu sehr vielen Zweifeln Gelegenheit gebenden Versuche wurden von Andern ohne Erfolg wiederholt, und Configliachi versichert unbedenklich, daſs sich die Nadeln, nachdem sie dem violetten Strahl ausgesetzt waren, nicht magnetisch zeigen, und daſs die Versuche von Morichini und Barlocci nicht mit genug Vorsicht angestellt sind[2].

Erst ganz neuerlich[3] scheinen die Umstände, welche das Gelingen des Versuchs bedingen, von Lady Sommerville aufgefunden zu seyn, nämlich daſs man nur diejenige Endspitze der Nadel, die Nordpol werden soll, dem violetten Strahle aussetzt, während der übrige Theil der Nadel bedeckt ist. Vermuthlich muſs man noch hinzusetzen, daſs eben dieser Nordpol einigermaſsen nach der Richtung hin gekehrt seyn muſs, wohin die Neigungsnadel ihren Nordpol kehrt, oder wenigstens die Lage der Nadel nicht zu weit von dieser Richtung entfernt seyn muſs.

Nach L. Gmelin aber, welcher den Versuch durch Morichini selbst anstellen sah, wurde die zu magnetisirende Nadel nicht genau im magnetischen Meridiane, mit etwas westlicher Abweichung, horizontal gehalten, der blaue und violette Strahl des Spectrums vermittelst einer Linse vereinigt, und wiederholt von der Mitte aus nach dem nordwestlich gerichteten Ende geführt, wodurch nach einer kleinen halben Stunde die Nadel so magnetisch wurde, daſs sie Eisenfeilicht anzog. Ein heiterer Himmel wurde als nothwendige Bedingung angegeben, die Tagszeit des Versuchs war etwa 11 Uhr[4].

Auch Baumgartner versichert[5], schon in wenigen Minuten einen Eisendraht im violetten Theile des Farbenbildes hinreichend magnetisch gemacht zu haben, um seine abstoſsende Wirkung auf den Pol einer astatischen Nadel deutlich zu bemer-

1 G. XLIII. 212.
2 Ebend. XLVI. 367.
3 Poggendorf's Ann. VI. 493.
4 Mündliche Mittheilung.
5 Baumgartner's Zeitschrift für Phys. und Math. I. 270.

ken. Lady SOMMERVILLE hat die Wirkung sogar dadurch hervorgebracht, dafs sie Nadeln zur Hälfte in grüne oder blaue Bänder wickelte, die andere Hälfte mit Papier bedeckte: andere Nadeln, in rothes oder gelbes Band gewickelt, blieben unmagnetisch. BAUMGARTNER glaubt, eine ungleiche Einwirkung auch des weifsen Lichtes auf beide Enden der Nadel sey hinreichend, um Magnetismus zu erregen. Völlig unmagnetische Stahlnadeln wurden am einen Ende polirt dem Lichte ausgesetzt und der polirte Theil ward Nordpol. Ein Versuch, wo die Nadel nach dem Poliren noch gänzlich unmagnetisch gefunden wurde, und nachdem die verdichteten Sonnenstrahlen einer kleinen Linse auf den polirten Theil gewirkt hatten, sich stark magnetisch zeigte, scheint vorzüglich geeignet, diese Meinung zu bestätigen. — Indefs gestehe ich, dafs ich, bei den mannigfaltigen hier möglichen Täuschungen, die Untersuchung noch nicht als beendigt ansehe.

Farben, welche aus der Mischung der prismatischen Farben hervorgehen.

19. Schon im Vorigen habe ich erwähnt, dafs man aus den sämmtlichen Farbenstrahlen wieder Weifs erhält, wenn man sie entweder alle, durch eine Linse gehörig gesammelt auf denselben Punct eines weifsen Körpers auffallen läfst, oder wenn sie durch ein zweites Prisma wieder alle in eine parallele Richtung gebracht werden; aber auch einige andere Mittel, um Weifs durch Mischung von Farbenstrahlen hervorzubringen, verdienen bemerkt zu werden. NEWTON behauptet zwar, man könne nicht zwei Farben aus dem prismatischen Bilde so heraus nehmen, dafs sie vereinigt ein reines Weifs geben, indefs erhält man dennoch eine, wenigstens für das Auge nicht vom Weifs zu unterscheidende Farbe, wenn man zwei Farbenbilder so auf einander bringt, dafs gelb und violett, orange und blau, roth und grün zusammenfallen. Nach v. GROTTHUSS [1] mufs man das Roth mit dem Bläulichgrün zusammenfallen lassen, indem man zwei Farbenbilder so, dafs bei beiden violett den obern Theil ausmacht, hervorbringt; trifft dann das Violett des etwas niedriger liegenden Bildes mit dem Gelb des höheren zusammen,

---

1 Schweigger's Journal. III. 158.

so fällt zugleich sehr nahe das Blau auf Orange, das Grün auf Roth, und bringt so ein in der Mitte weifses, am einen Ende in Blau und Violett, am andern Ende in Orange und Roth übergehendes Bild hervor. v. Grotthuss schreibt vor, man solle die beiden Spectra etwa in 12 Fufs Entfernung im dunkeln Zimmer auf eine weifse Wand fallen lassen, die mittleren sich vereinigenden Strahlen aber auf einer näher gehaltenen schwarzen Tafel auffangen, in welcher sich nur eine kleine runde Oeffnung befindet. Wenn man die Einrichtung so macht, so giebt diese runde Oeffnung ein doppeltes Bild an der Wand, weil die vom einen Prisma herkommenden Strahlen eine andere Richtung haben, als die vom andern Prisma herkommenden. Liegt die Oeffnung in der schwarzen Tafel da, wo Gelb vom einen und Violett vom andern Prisma zusammenfallen, so sind jene Bilder an der Wand, das eine gelb, das andere violett; aber wenn man nahe hinter der schwarzen Tafel sie auffängt, so dafs sie über einander greifen, so stellen sie Weifs dar. Dieses Weifs durchs Prisma angesehen, zeigt sich aber nur in Gelb und Violett, oder allgemein in die zwei Farben, woraus es entstanden ist, zerlegbar.

Wenn man, statt alle Strahlen zum Weifs zu vereinigen, oder statt diejenigen zwei Farbenstrahlen, die ein sehr nahe reines Weifs geben, zu vereinigen, andere Farbenstrahlen vereiniget, so geben sie Mittelfarben, die zum Theil mit denen im prismatischen Farbenbilde übereinstimmen, sich aber immer dadurch von diesen unterscheiden, dafs jene sich durchs Prisma in die Farbenstrahlen, woraus sie zusammengesetzt waren, zerlegen lassen, die aus dem Sonnenlichte unmittelbar vermittelst der Brechung hervorgehenden sich unzerlegbar zeigen. Es ist dieses auch nicht so auffallend, als einige Naturforscher es darstellen; denn offenbar besteht das Sonnenlicht aus einer Mannigfaltigkeit von Strahlen, deren Brechbarkeit nach dem Gesetze der Stetigkeit, in unmerklichen Abstufungen, verschieden ist[1], und unser Auge hat hier von denen, deren Brechbarkeit zwischen Gelb und Blau liegt, die Empfindung des Grün, eben so, wie bei einer Mischung der gelben und blauen Strahlen. Die

---

1 Blofs die von Fraunhofer beobachteten dunkeln Linien scheinen eine Unterbrechung und Abweichung vom Gesetze der Stetigkeit anzudeuten, vgl. No. 15.

Mischung nämlich, die aus der Erleuchtung durch zwei Farben des prismatischen Sonnenbildes entsteht, giebt die zwischen ihnen liegende Farbe so dafs, wenn man das Farbenbild auf eine Glaslinse fallen läfst, aber durch einen Schirm die übrigen Strahlen abhält und nur orange und gelblich grün auffängt, ein gelbes Bild, aus Gelb und Blau dagegen Grün hervorgeht u. s. w. Um dieses deutlich zu sehen, mufs man die Linse in einem Abstande, der ihrer doppelten Brennweite gleich ist, vom Prisma entfernt aufstellen, und eben so entfernt hinter der Linse eine weifse Tafel anbringen. Bedeckt man die so stehende Linse mit einem Deckel, in welchem zwei offene schmale Streifen, den Kanten des Prisma's parallel, sind, und läfst nun auf den einen Grün, auf den andern Orange fallen, damit diese Strahlen allein die Linse erreichen, so sieht man, wenn man die weifse Tafel näher hinter der Linse hält, beide Farbenstreifen von einander getrennt, in der oben erwähnten Entfernung aber beide zusammenfallend, und aus Orange und Grün geht ein blasses Gelb hervor, indem die übrigen Strahlen sich zu Weifs vereinigen, das im Orange und Grün übrige Gelb aber die einzige Färbung hervorbringt. Diese Versuche geben zugleich den Grund an, warum es möglich war, dafs Wünsch[1] die drei Farben Roth, Grün und Violett als die einfachen ansehen konnte, aus deren Mischung Gelb und Orange, wenn man Roth und Grün nimmt, Blau, wenn man Grün und Violett nimmt, hervorgehen.

Newton hat über diese Mischungen[2] viele Versuche angestellt, und giebt eine Regel, wie man die aus irgend einer gegebenen Mischung hervoıgehende Farbe finden könne[3], die sich so darstellen läfst[4]. Wenn man sich jede Farbe aus dem Theile des Farbenbildes, wo sie am reinsten ist, genommen denkt, so mufs man $60\frac{3}{4}$ an Roth
$34\frac{1}{6}$ an Orange
$54\frac{2}{3}$ an Gelb
$60\frac{3}{4}$ an Grün

---

1 Versuche und Beobachtungen über die Farben des Lichts, von Wünsch. Leipz. 1792. G. XXXIV. 10. Einen interessanten Auszug mit Bemerkungen über den Inhalt findet man in Annales de Chimie LXIV. 135.

2 Optice Lib. I. Pars. 2. propos. 5. auch Exper. 13.

3 Lib. I. Pars. 2. propos. 6.

4 Biot traité de phys. III. 450.

$54\frac{2}{3}$ an Blau
$34\frac{1}{6}$ an Indigblau
$60\frac{3}{4}$ an Violett

nehmen, um in richtiger Proportion aus dieser Mischung weiſs zu erhalten. Oder noch genauer, man theile den Kreisumfang so, daſs

60°	45′	34″	dem Roth,
34	10	38	dem Orange,
54	41	1	dem Gelb,
60	45	34	dem Grün,
54	41	1	dem Blau,
34	10	38	dem Indigblau,
60	45	34	dem Violett

zugetheilt werden, so hat man das verhältniſsmäſsige Maſs der Einwirkung jeder Farbe, welches zur Hervorbringung des Weiſs erforderlich ist. Denkt man sich alle diese Bogen als mit Gewichten ihrer ganzen Länge nach belastet: so fällt nach der Lehre vom Schwerpuncte, des Bogens $= a$ Schwerpunct in die Entfernung $= \frac{\text{Sin.} \frac{1}{2} a}{\frac{1}{2} a}$ vom Centro, und wenn man den Schwerpunct jedes der eben erwähnten Bogen als mit einem Gewichte der Gröſse des Bogens proportional, belastet, ansieht, so fällt der gemeinschaftliche Schwerpunct aller Bogen in den Mittelpunct. Man kann also sagen: wenn man jene Schwerpuncte des rothen Bogens, des orangefarbenen Bogens u. s. w. genau mit den Gewichten belastet, die den eben angeführten Zahlen proportional sind, so zeigt die Lage des Schwerpunctes im Mitttelpuncte ein völliges Ausgleichen aller Farben, eine Vereinigung in Weiſs, an; legt man dagegen mehr Roth zu, während die übrigen Farben wie vorhin bleiben, so rückt der Schwerpunct auf die Seite des Roth, und offenbar wird auch die Mischung sich nur als röthlich zeigen, und zwar um so mehr, je entfernter vom Mittelpuncte sich der Schwerpunct aller Farben findet.

Man bestimmt die Lage des Schwerpunctes am besten durch zwei Coordinaten, deren Lage an sich willkürlich ist, deren eine wir aber am bequemsten auf dem Halbmesser nehmen, der das Roth vom Violett trennt; die andre wird gegen diese senkrecht genommen. Bedeutet R den Radius, so liegt des rothen Bogens $= 60° \; 45' \; 34'' = 1{,}0604 . R$ Schwerpunct in der Ent-

fernung $= \frac{0,5057}{0,5302} = 0,9538.$ R vom Mittelpunte und hat also die Coordinaten $= 0,9538.$ R. Cos. $30° \; 22' \; 47'' = 0,8228.$ R. und $= 0,9538.$ R. Sin. $30° \; 22' \; 47'' = 0,4823.$ R. Wenn also an Roth die Quantität $= r$ genommen wird, so sind (da $R = 1$ gesetzt werden kann) die Momente dieses Roth in statischem Sinne $= 0,8228.$ r
und $= 0,4823.$ r. und hieraus läſst sich nun leicht verstehen, daſs wenn man an Roth die Quant. $= r$,
an Orange — $= o$,
an Gelb — $= g$,
an Grün — $= G$,
an Blau — $= b$,
an Indigblau — $= i$,
an Violett — $= v$,
nimmt, man die Formeln für beide Coordinaten des Schwerpuncts

$$= \frac{(r+v)\,0,8228 + (o+i)\,0,2074 - (g+b)\,0,5140 - G.\,0,9538.}{r+o+g+G+b+i+v}$$

und

$$= \frac{(r-v)\;0,4823 + (o-i)\;0,9632 + (g-b)\;0,8137}{r+o+g+G+b+i+v},$$ erhält.

Es ist nämlich

$$0,8228 = \frac{\text{Sin. } 30° \; 22' \; 47''}{\text{arc. } 30 \;\; 22 \;\; 47}. \quad \text{Cos. } 30° \; 22' \; 47$$

$$0,4823 = \frac{\text{Sin. } 30° \; 22' \; 47''}{\text{arc. } 30 \;\; 22 \;\; 47}. \quad \text{Sin. } 30° \; 22' \; 47''.$$

$$0,2074 = \frac{\text{Sin. } 17° \; 5' \; 19''}{\text{arc. } 17 \;\; 5 \;\; 19}. \quad \text{Cos. } 77° \; 50' \; 53''.$$

$$0,9632 = \frac{\text{Sin. } 17° \; 5' \; 19''}{\text{arc. } 17° \; 5' \; 19''}. \quad \text{Sin, } 77° \; 50' \; 53''$$

und so ferner.

Hiernach würde man also, wenn man gleiche Antheile roth und gelb $r = g$ nimmt, und alle andere Farben wegläſst oder $= 0$ setzt, die beiden Ordinaten

$$= \frac{0,8228 - 0,5140}{2} = 0,1544$$

$$\text{und} = \frac{0,4823 + 0,8137}{2} = 0,6480$$

erhalten. Diese treffen, wenn man

$\text{Tang}\,\varphi = \frac{0,6480}{0,1544} = \text{Tang}\ 76^\circ\ 36'$ berechnet, beinahe mit der Mitte des Orange zusammen, welche in $77^\circ\ 51'$ liegt. Die Entfernung des Schwerpunctes vom Mittelpuncte ist $= \sqrt{(0,1544^2 + 0,6480^2)} = 0,67$, und die Farbe nähert sich also dem Weifs, oder sie ist so, als ob ungefähr $\frac{2}{3}$ reines Orange mit $\frac{1}{3}$ Weifs gemischt wäre[1].

Diese Regel, um die aus Mischung mehrerer Farben hervorgehende Farbe zu finden, zeigt sich der Erfahrung sehr gemäfs und Biot hat z. B. die Farben der durch Anwandlung hervorgehenden Farbenringe so betrachtet; er sowohl als Newton geben danach die Farben so wie sie im ersten, zweiten und allen folgenden Farbenringen sich zeigen, an[2] und die Erfahrung entspricht diesen Bestimmungen.

20. Selbst die Mischung aus Färbestoffen läfst sich einigermafsen nach ähnlichen Regeln betrachten; indefs darf man nie vergessen, dafs unsere Färbemittel nie so reine Farben darstellen, als die Sonnenstrahlen. Mischen wir z. B. pulverisirte Färbestoffe, so würde, wenn auch die erleuchtete Seite jedes Körperchens seine Farbe ganz rein darstellte, doch die Schattenseite ein Dunkel oder Schwarz mit in die Mischung bringen. Ueberziehen wir eine völlig ebene Fläche mit einer Färbung, so wirft ja selbst, wenn diese Färbung aus dem reinsten Weifs bestände, die Fläche nicht alles Licht zurück, und zeigt daher, je nachdem mehr oder minder Licht verloren geht, eine Hinneigung zum Grau. Wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn insbesondere diejenigen Mischungen, welche Weifs geben sollten, nur Grau geben. Man giebt die Vorschrift, um aus einer Mischung aller Farben das Weifs hervorgehen zu sehen, solle man einen Kreis so eintheilen, dafs $60\frac{3}{4}$ Grade mit Roth, $34\frac{1}{4}$ mit Orange, $54\frac{2}{3}$ mit Gelb, $60\frac{3}{4}$ mit Grün, $54\frac{2}{3}$ mit lichtem Blau, $34\frac{1}{4}$ mit Indigblau, $60\frac{3}{4}$ mit Violett und zwar jede dieser Farben möglichst schön und rein genommen, gefärbt werde,

1 Obgleich Newton durch eine nicht allzu sicher begründete Vergleichung der Farben mit den Tönen auf die Zahlenverhältnisse kam, die dieser Rechnung zu Grunde liegen, so scheinen sie doch der Erfahrung so nahe gemäfs, dafs man sie mit Nutzen gebrauchen kann.

2 Art. *Anwandlungen*. No. 11.

Wenn man den so gefärbten Kreis in eine schnelle Drehung um seine Axe setzt[1], so folgen die Eindrücke, welche die einzelnen Farben aufs Auge machen, so schnell nach einander, dafs das Auge sie nicht zu unterscheiden im Stande ist, und das Auge sieht den ganzen Kreis mit einer Färbung, worin keine jener Farben vorherrscht, nämlich in einem Grau, das desto minder dunkel ist, je glänzender die angewandten Farben waren. Auf ähnliche Weise könnte man, indem man die Drehscheibe mit zwei verschiedenen Farben oder mit dreien u. s. w. zu gleichen oder ungleichen Theilen färbte, diejenigen Mischungen dem Auge darstellen, die diesen entsprechen und hätte dabei wenigstens den Vortheil, dafs die Farben selbst keine Aenderung durch chemische oder andere Einwirkung erlitten; indefs mufs man immer an die erwähnte Unvollkommenheit der gefärbten Körper denken.

Man hat auf verschiedene Weise gesucht, die Uebergänge der Farben in einander durch Mischung von Färbestoffen nachzuahmen. Das *Mayer'sche Farbendreieck* ist bestimmt, diese Mischung in genau gegebenen Verhältnissen zu bewirken. Indem man nämlich ein Dreieck so, wie die Zeichnung angiebt, eintheilt, und den an den Ecken liegenden Theilen reines Roth, reines Blau, reines Gelb giebt, soll man in den zwischen r, b liegenden Fächern alle Abstufungen von Roth und Blau gemischt hervorbringen. In unserer Figur, wo 6 Fächer zwischen r und b liegen, würde r reines Roth, das nächste Fach 4 Theile Roth, 1 Theil Blau, das folgende 3 Theile Roth, 2 Theile Blau, das vierte 2 Theile Roth, 3 Theile Blau, das fünfte 1 Theil Roth, 4 Theile Blau, das sechste, b, reines Blau enthalten. Eben so würden die an den beiden andern Seiten liegenden Fächer die Uebergänge von Roth zum Gelb, vom Gelb zum Blau darstellen. Die in der Mitte liegenden Fächer enthalten Mischungen aus drei Farben; in der zweiten Reihe von unten solche, die 1 Theil Roth enthalten, und diesen gemischt mit 1 Theil Gelb und 3 Theilen Blau in dem Fache u, oder mit 2 Theilen Gelb und 2 Theilen Blau im Fache v, oder mit 3 Theilen Gelb und 1 Theile Blau im Fache w. Will man diesen Farben noch die Abstufun-

Fig. 20.

1 Eine sorgfältige Anleitung, welche Farben und wie man sie auftragen mufs, um ein möglichst schönes Weifs hervorgehen zu sehen, giebt Lüdicke. G. V. 275. XXXIV, 17. 366.

gen beifügen, die durch Zumischung von Weiſs entstehen, so muſs man eine Reihe solcher Dreiecke malen, wo in dem einen überall 1 Theil Weiſs, in dem andern 2 Theile Weiſs u. s. w. in die Mischung kommt.

Dieser Gedanke würde, um feste Bezeichnungen für die Farben zu erhalten, sehr passend seyn, wenn nur nicht die Ausführung, wie schon LICHTENBERG fand, so groſse Schwierigkeit hätte, da die Mischung nicht geradezu nach den Verhältniſstheilen der Färbestoffe geschehen kann, und bei einer feuchten Mischung vollends die verlangten Abstufungen oft ganz verloren gehen[1].

LAMBERT glaubte[2] diesen Gedanken, den schon LEONARDO DA VINCI angegeben hatte, mit einer von CALAU verfertigten Wachs ähnlichen Substanz, die mit den Farben gemischt wurde, besser zu Stande zu bringen; indeſs empfehlen die Farben auf der dem Buche beigefügten Tafel (die freilich in so langer Zeit sich verändert haben mögen), sich nicht so sehr. Die *Farbenpyramide* fängt unten mit einem Dreieck, dessen Seite 9, das Ganze also 45 Fächer enthält, an, und die Mischungen gehen hier mit Achteln fort. Das zweite Dreieck enthält 7 Fächer in jeder Seitenlinie und 28 Fächer im Ganzen; die Mischungen schreiten nach Sechsteln fort, aber zu jeden 6 Portionen werden zwei Portionen Weiſs gemischt, so daſs die Farben alle heller sind. Das dritte Dreieck hat 5 Fächer auf jeder Seitenlinie, und die Eckfächer enthalten nun 4 Portionen Blau oder Roth oder Gelb mit 4 Portionen Weiſs gemischt, und eben so haben die vermischten Farben nur 4 Portionen der ihnen zukommenden Farben und 4 Portionen Weiſs. Das vierte Dreieck hat 4 Fächer an jeder Seite und die Farbenmischungen schreiten nach Dritteln fort, aber zu 3 Portionen Farbe kommen 5 Portionen Weiſs. Das fünfte Dreieck besteht nur noch aus 6 Fächern, die zu 6 Portionen Weiſs entweder 2 Portionen Blau oder Roth oder Gelb, oder auch von je zweien derselben eine Portion enthalten. Das sechste Dreieck enthält nur drei Farben, die aus 1 Roth mit 7 Weiſs, 1 Blau mit 7 Weiſs, und 1 Gelb mit 7 Weiſs be-

1 Tob. Mayeri opp. inedita. cura Lichtenbergii. De affinitate colorum.

2 Beschreibung einer mit dem Calauschen Wachse ausgemalten Farbenpyramide. Berlin 1772.

stehen. Endlich folgt noch die letzte Schicht mit 1 Fach ganz weiſs.

Runge's *Farbenkugel*[1], welche die Mischungen der Farben und ihr Uebergehen in Weiſs nach der einen Seite, in Schwarz nach der andern Seite darstellt, gehört zu den gelungenern Versuchen dieser Art. Er denkt sich auf der Oberfläche einer Kugel einen gröſsten Kreis gezeichnet, auf welchem in drei, um 120 Gr. von einander entfernten Puncten reines Roth, Blau, Gelb, aufgetragen wird. Läſst man nun von diesen Puncten aus, Uebergänge der Farben in einander, nach regelmäſsig zunehmender Beimischung der benachbarten Farbe, statt finden, so kommt 60 Grade vom Blau und Gelb dasjenige Grün vor, welches sich weder dem Blau noch dem Gelb zu sehr nähert, von da an aber der Uebergang in Gelb auf der einen, in Blau auf der andern Seite; eben so ist es mit Orange und Violett. Nimmt man die diesem gröſsten Kreise zugehörenden Pole, so erhellet nun leicht, welche Färbung jedem Puncte der einzelnen Parallelkreise zukomme; wenn ich nämlich den einen Pol den weiſsen, den andern den schwarzen nenne, so ist es wohl verständlich genug, wenn ich sage, durch irgend einen Punct des zuerst mit Farben ausgestatteten gröſsten Kreises gehe nach Art der Meridiane ein gröſster Kreis nach beiden Polen zu, und dieser werde mit allen Abstufungen der Farbe, die er in jenem trifft, zum Weiſs hinüber nach dem einen Pole zu, und zum Schwarz hinüber nach dem andern Pole zu gefärbt. So entsteht auf der Kugelfläche ein vollkommen dargestellter Uebergang aller Farben je zwei in einander und aller in Schwarz und Weiſs hinüber. Will man Mischungen aus drei haben, so muſs man sich Durchschnitte der Kugel denken, und auf jedem Durchmesser die Uebergänge aus einer gegebenen Mischung in die, welche ihr gerade gegenüber steht.

Ergänzungsfarben.

Complementairfarben (couleurs complémentaires) nennt man gegenseitig diejenigen, die einander zum

---

1 Farbenkugel oder Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander und ihrer vollständigen Affinität. Von P. O. Runge. (Hamb. 1810.)

Weifs ersetzen. So ist also Gelb die Ergänzungsfarbe des Violett, welches Roth und Blau enthält, und Violett die Ergänzungsfarbe des Gelben; Grün ist die Ergänzungsfarbe des reinen Roth, und Orange die Ergänzungsfarbe des reinen Blau. Diese Farben zeigen sich bei den Newton'schen Farbenringen, die im Art. *Anwandlungen* beschrieben sind. Sieht man nämlich da eine gewisse Farbe durch zurückgeworfenes Licht, so kann man sicher seyn, dafs die in eben dem Puncte durchgelassenen Strahlen und die Ergänzungsfarbe von jener zeigen, und diese Farbenringe können daher dienen, um selbst zu den sich hier zeigenden gemischten Farben die genauen Ergänzungen kennen zu lernen. Dafs die Abendröthe die Ergänzungsfarbe des blauen Himmels zeigt, habe ich im Art. *Abendröthe* erwähnt; wie diese Farben als sich einander *fordernde* im Auge entstehen, werde ich später in diesem Artikel zeigen, wo denn auch von den farbigen Schatten mit ihren, als Ergänzungsfarben zu einander gehörenden Farben die Rede seyn wird.

Epoptische und entoptische Farben.

22. Den Namen **epoptische** Farbe hat v. Göthe den Farben beigelegt, die wir unter mancherlei Umständen an der Oberfläche der Körper entstehen sehen, und unter welchen die Farbenringe, die ich im Art. *Anwandlungen* beschrieben habe, die vorzüglichsten sind[1].

Dafs diese Farbenringe, deren Beschreibung ich hier nicht wiederholen will, da entstehen, wo von einer sehr dünnen Schicht eines durchsichtigen Körpers einige Farbenstrahlen zurückgeworfen werden, während die übrigen hindurchgehen, ist eine so genau der Erscheinung gemäfse Behauptung, dafs man kein Bedenken tragen kann, dieses als eine Thatsache anzusehen. Auch das ist hinreichend bestätigt, dafs die Farbenstrahlen, die bei der Dicke $= a$ der durchsichtigen Schicht unter bestimmtem Winkel zurückgeworfen werden, eben diese Zurückwerfung auch bei der Dicke $= 3a$; $= 5a$; $= 7a$ erleiden, dagegen bei der Dicke $= 2a$; $= 4a$; $= 6a$; vollkommen durchgelassen werden. Zeigen sich diese Farben auf einer Luftschicht

1 v. Göthe rechnet mehrere Fälle hierher, von denen es zweifelhaft ist, ob sie hierher gehören, z. B. die Farben, die an dem Sprunge einer soliden Glasmasse sich zeigen.

zwischen der convexen Oberfläche eines Linsenglases und der ebenen Oberfläche eines gewöhnlichen Glases, so sind es Farbenringe, die kreisförmig um den Mittelpunct, wo beide Gläser einander berühren, sich bilden. Die Ordnung, wie die Farben sich da zeigen, der Grund, warum in den äufseren Ringen gemischte Farben sichtbar werden, das Gröfserwerden der Ringe, wenn bei veränderter Stellung des Auges die Strahlen unter schiefern Winkeln ins Auge kommen, ist im Art. *Anwandlungen* genauer betrachtet[1].

Wegen dieser ungleichen Gröfse der Farbenringe, die von der Lage des Auges abhängt, entsteht der Wechsel der Farben bei veränderter Stellung des Auges.

Ist die Luftschicht nicht so regelmäfsig, so zeigen sich, zwischen zwei an einander gedrückten Glasplatten oder Prismen, eben solche Farben, die aber nun andere Linien, so wie es die Lage der einander gleich nahen Puncte der Oberflächen und wie es die Lage des Auges fordert, bilden. Eben diese Farben sind es, die sich auf den Seifenblasen zeigen, wo die ungemein dünne Schicht Wasser nach ähnlichen Gesetzen wirkt, wie in den vorigen Fällen die Luftschicht. Auch dünne Blättchen fester Körper zeigen Farben nach eben den Gesetzen. Ist nämlich die Dicke des Blättchens so geringe, dafs jene Zurückwerfung einiger Farbenstrahlen statt findet, während andere durch-

---

1 Zu der dort in No. 15. gemachten Bemerkung glaube ich noch etwas beifügen zu müssen. Wenn man nicht blofs 7 Farbenstrahlen annimmt, sondern, wie es Natur gemäfser scheint, eine nach dem Gesetze der Stetigkeit durch unendlich kleine Abstufungen fortgehende Ungleichheit der Brechbarkeit: so läfst sich einsehen, dafs zwar alle Strahlen, deren Brechbarkeit zwischen gewissen Grenzen liegt, dem Auge die Empfindung des Violett geben, während doch jeder von ihnen seinen Weg anders, nach Mafsgabe der ungleichen Brechbarkeit, fortsetzt. Der Strahl, der in der geometrischen Mitte des rein violetten Farbenringes im einfarbigen Lichte von der dünnen Luftschicht zurückgeworfen wird, mag immer vollkommen zurückgeworfen werden, so wird doch immer der auf eben den Punct fallende nächste Strahl von etwas anderer Brechbarkeit hier durchgehen; und da der einfallende Strahl nie ein im strengsten Sinne einziger ist, der nur ein einziges Theilchen von der Brechbarkeit, die z. B. dem genau mittlern Violett zukommt, enthielte, so erklärt sich völlig, warum theils die Farbenringe eine gewisse Breite haben, theils auch selbst da, wo eine gewisse Farbe zurückgeworfen wird, dennoch einige Farbenstrahlen derselben Art durchgehen.

gelassen werden, so zeigen sie sich dem Auge, welches reflectirte Strahlen von ihnen erhält, in jener Farbe. Aber die unter verschiedenen Winkeln auffallenden Strahlen erleiden eine ungleiche Zurückwerfung, indem andere Farbenstrahlen bei einem andern Winkel zurückgeworfen werden; es zeigt sich daher theils, wenn das Blättchen groſs genug ist, um diese für verschiedene Puncte eintretende Ungleichheit der Winkel merklich werden zu lassen, eine verschiedene Farbe in verschiedenen Puncten, theils bei veränderter Lage des Auges eine Aenderung der Farbe, ein Farbenspiel, das noch mannigfaltiger wird, wenn das Blättchen keine genaue Ebene darstellt, sondern hier und da unter andern Winkeln gegen das Licht und gegen das Auge geneigt ist. Folgendes von Biot[1] entlehnte Beispiel erläutert dieses noch mehr. Er nahm ein Micablättchen (Glimmer), welches sehr lebhafte Farben gab. Um es besser zu beobachten, ward es horizontal auf eine schwarze Unterlage gelegt, und nun, indem es dem Lichte glänzender Wolken ausgesetzt war, unter verschiedenen schiefen Winkeln betrachtet. Bei senkrecht einfallenden Strahlen zeigte das Blättchen ein lebhaftes Grün, welches dem dritten Farbenringe (und dieser entsteht bei Luftschichten, wenn die Dicke $\frac{252}{10000000}$ eines engl. Zolles ist[2]), zu entsprechen schien; lieſs man dagegen bei einer andern Stellung des Auges die schiefer einfallenden Strahlen ins Auge gelangen, so ging die Farbe zum Blau, zum Purpur, zum Roth über, und das letztere, anfangs etwas dunkel, erhellte sich jemehr und mehr, je kleiner der Winkel zwischen dem Strahle und der Fläche wurde. Aus der Folge dieser Farben lieſs sich schlieſsen, daſs das letzte Roth zwischen dem Ponceauroth und dem glänzenden Roth des zweiten Farbenringes liege, (Farben, denen im Mittel die Dicke $= \frac{190}{10000000}$ in einer Luftschicht bei senkrechten Strahlen entspricht.) Daſs diese Farben wirklich den angegebenen Farbenringen der dritten und zweiten Ordnung entsprechen, läſst sich noch näher nachweisen, wenn man nach den Formeln[3] (Art. *Anwandlungen* No. 13. 14.) rechnet. Ist

---

1 Biot Tr. d. phys. IV. 79.

2 Vergl. Art. *Anwandlungen*. S. 312.

3 Biot IV. 27.



nämlich $\frac{m}{n}$ das Brechungsverhältniſs für Glimmerblättchen, so würde $\frac{m}{n}$ 25,2 Milliontheilchen die Dicke seyn, wobei sie jenen grünen Strahl senkrecht zurückwerfen, und $\frac{m}{n} \cdot 19 \cdot \text{Sec. } u = \frac{m}{n} \cdot 25{,}2$ Millionth. würde, wenn $\text{Sin. } u = \frac{105 + \frac{m}{n}}{106} \text{ Sin. } r$ ist, die Dicke für den rothen Strahl der zweiten Ordnung ausdrücken, wenn r der Brechungswinkel ist. Die erste Gleichung giebt hier $\text{Cos. } u = \frac{19}{25{,}2}$; $u = 41^\circ\, 3'\, 50''$.

$\text{Sin. } u = 0{,}6569 = \frac{105 + \frac{m}{n}}{106} \text{ Sin. } r$, welches, weil $\text{Sin. } r = \frac{n}{m}$ ist, wenn der Einfallswinkel $= 90^\circ$ ist,

$\text{Sin. } u = 0{,}6569 = \frac{105}{106} \cdot \frac{n}{m} + \frac{1}{106}$; $\frac{n}{m} = 0{,}6536$; $\frac{m}{n} = 1{,}53$ giebt.

Aus den beiden Farbenbeobachtungen ergiebt sich also, daſs das Brechungsverhältniſs $= 1{,}53$ für das Glimmerblättchen seyn muſste, und dieses Brechungsverhältniſs ist dem, was ähnliche Körper (Bergkrystall $= 1{,}56$, Doppelspath $= 1{,}66$, Crownglas $= 1{,}53$) geben, recht wohl entsprechend.

Mit diesen auf der Oberfläche der dünnen Blättchen erscheinenden Farben sind immer Erscheinungen ähnlicher Art vermöge der durchgelassenen Farbenstrahlen verbunden. Wird nämlich bei auffallendem weiſsen Lichte eine Farbe zurückgeworfen, so müssen die sämmtlichen durchgelassenen Strahlen die Ergänzungsfarbe (No. 21) zu jener bilden. Daſs diese sich wirklich zeigt, ist schon im Art. *Anwandlungen* gesagt; sie ist aber matt oder mit Weiſs vermischt, weil immer auch Farbenstrahlen der Art, die zurückgeworfen werden, die wenigstens dem Auge eben die Farbenempfindung erregen, durchgehen, wovon ich den Grund kurz vorher in der Anmerkung angegeben habe.

Uebrigens gehören hierher die bunten Farben, die man oft, wenn Wasser mit einem sehr dünnen Häutchen bedeckt ist, auf

demselben sieht[1]. Auch das Anlaufen des Stahls rechnet man hierher, indem auch die hierbei entstehenden Farben einer sehr dünnen Schicht anzugehören scheinen.

23. Was wir hier durch sehr dünne Blättchen bewirkt sehen, kann sich auch auf dickeren Platten durchsichtiger Körper zeigen. Am schönsten geschieht dieses bei den Seebeck'schen Farbenerscheinungen; wo einige Lichtstrahlen durch Polarisirung unfähig gemacht sind zurückgeworfen zu werden, und andere farbige Lichtstrahlen dagegen vollkommen reflectirt werden Diese Farbenerscheinungen, die Seebeck *entoptische* nennt, weil sie den Anschein haben, als entständen sie im Innern der Körper, scheinen gleichwohl mit den vorigen auf dünnen Blättchen, die man ebenfalls durch polarisirte Strahlen schön zeigen kann, in eine Classe zu gehören[2]. Die Beschreibung der vielen Farbenphänomene, die mit der Polarisirung des Lichtes verbunden sind, mufs ich hier übergehen.

Eine Erscheinung, die Newton beschreibt, und die er sowohl als Biot hierher rechnet, führe ich an, ohne zu entscheiden, ob sie wirklich hierher gehört. Er liefs auf einen gläsernen Hohlspiegel Licht durch eine kleine Oeffnung fallen und erblickte nun theils durch das zurückgeworfene Licht Farbenringe um diese Oeffnung oder auf einer dem Spiegel gegenüber gestellten weifsen Fläche, theils sah er auch, wenn er das Auge an die Stelle brachte, wo sich auf der Tafel die Ringe gezeigt hatten, den Spiegel selbst mit Farbenspiel bedeckt. Ich werde hierüber im Art. *Farbenringe* noch etwas mehr sagen[3].

Katoptrische Farben.

24. Obgleich alle eben beschriebenen Farbenphänomene auch durch reflectirtes Licht hervorgehen, so führt doch v. Göthe unter dem Namen *katoptrischer Farben*[4] einige andere Erscheinungen an, die allerdings eine eigene Classe zu bilden

---

1 Vorzüglich schön und schnell wechselnd sieht man sie, wenn man an einem Metalldraht einen kleinen Tropfen ätherischen Oeles auf die Oberfläche von Wasser bringt.

2 Vgl. Art. *doppelte Brechung*. No. 14. und Art. *Polarisirung des Lichts*.

3 Biot. IV. 175.

4 Farbenlehre I. S. 142.

scheinen. Die Erscheinungen sind zum Theil bekannt genug. Wenn man z. B. eine polirte Silberplatte nimmt, in welcher sich aber einige feine Linien eingerissen befinden, so erscheinen an diesen bunte Farben, besonders Grün und Purpur. Läfst man eine Silberplatte von Scheidewasser so anfressen, dafs das Kupfer aufgelöfst wird, so bietet die nun nicht mehr ganz gleiche Oberfläche glänzende mit bunten Farben gezierte Puncte dar. Etwas ähnliches zeigt sich überall, wo eine nicht ganz gleichförmige Oberfläche Licht zurückwirft, an den Fäden der Spinnengewebe, an Haaren, endlich vorzüglich schön und mannigfaltig am Perlmutter.

Dafs diese Farben durch sehr feine Furchen in der übrigens polirten Oberfläche entstehen, hat schon YOUNG erkannt, der diese Farben aus dem Zusammentreffen zweier Lichtportionen erklärt, deren eine an der einen Seite, die andere an der andern Seite der Furche zurückgeworfen wird[1]. Er stellte seine Beobachtungen an Mikrometern an, die in Glas eingerissen, 500 Parallellinien auf den Zoll enthielten[2].

Einen Gebrauch von diesen gefurchten Flächen, um schön ins Auge fallende Farben-Erscheinungen zu bewirken, hat BARTON zuerst öffentlich bekannt gemacht. Eine sehr genau gearbeitete Theilmaschine erlaubt ihm, Linien in Stahl einzuschneiden, die nur $\frac{1}{10000}$ Zoll von einander entfernt sind, und die Kunst, die von ihm sogenannte *Iris ornaments*, Regenbogen-Verzierungen zu machen, besteht darin, dafs er diejenigen Theile der Metallflächen, die zu diesen Verzierungen bestimmt sind, mit gleich entfernten Linien versieht. Wenn er die Linien in minder kleinen Abständen von einander einschnitt, so zeigten sich die das Hauptbild eines leuchtenden Punctes begleitenden Farbenbilder jenem Hauptbilde näher und standen auch selbst einander näher; sind dagegen die Parallellinien sehr nahe an einander, so stehen die Bilder weiter von einander ab und sind sehr lebhaft. Im Sonnenlichte zeigen diese gefurchten Flächen ein Farbenspiel, das BARTON mit den schönen Lichtblitzen des Diamants vergleicht. Bei so eng gezogenen Linien, dafs 5000 bis 10000 auf den Zoll kamen, zeigten sich die Bilder am schönsten[3].

---

1 S. Art. *Interferenzen*.

2 Gilb. Ann. XXXIX. 186.

3 Edinburgh. philos. Journ. No. XV. p. 128. und Gilb. Ann.

Ehe ich zu dem übergehe, was **Biot** und **Fraunhofer** zur Erklärung dieser Phänomene gesagt haben, will ich vorher ein zur Beobachtung derselben sehr brauchbares Instrument beschreiben, welches von dem sehr geschickten Mechanicus **Hoffmann** in Leipzig angegeben ist. An der Axe A, die vermittelst des in der Figur sichtbaren runden Kopfes gedreht werden kann, ist im Innern des 1 Zoll hohen Cylinders, dessen Grundfläche die Figur zeigt, eine schön polirte Stahlplatte befestigt, auf welcher mit einer sehr genauen Theilmaschine feine Linien mit Diamant in gleichen Abständen eingerissen sind; die Linien fallen am zweckmäfsigsten aus, wenn man 3000 auf den Paris. Zoll nimmt. Diese kleine mit feinen Linien erfüllte Fläche erhält, da das cylindrische Gefäfs sonst überall geschlossen ist, einzig durch einen in der krummen Fläche des Cylinders bei B offen gelassenen Spalt, den man durch einen Schieber nach Willkür verengen kann, auffallendes Licht; die zweite Oeffnung C des cylindrischen Gefäfses, auf welche das 8 Zoll lange Rohr CD, ohne Gläser[1], aufgeschraubt ist, weiset dem Auge seine zur Beobachtung angemessene Stelle an; das Rohr enthält bei C eine Blendung, welche nur eine, der lineirten Fläche gleiche Oeffnung hat. Am Umfange des Kreises CB ist eine Gradtheilung, die ihren Anfangspunct da hat, wo die Axe des Rohres liegt; sie giebt halbe Grade an, und ein mit der Axe A verbundener Zeiger, der immer eine senkrechte Lage gegen die Spiegelplatte behält, zeigt bei jeder Stellung der Stahlplatte den Winkel an, den die Gesichtslinie mit dem Einfallslothe macht.

Fig. 21.

Um hier die Farbenfolgen, die vermöge der eingerissenen Linien sich zeigen, auf einmal zu übersehen, kann man das Rohr abschrauben und das Auge dicht an C bringen. Stellt man dann den Zeiger auf $32\frac{1}{2}°$, (weil zwischen der Lage des Auges und des Spalts 65 Grade enthalten sind) und läfst nur einen sehr engen Spalt offen, so sieht man das Bild des durch diesen Spalt

---

LXXIV. 379. Solche irisirende Knöpfe werden jetzt in England und in Frankreich aus Messing verfertigt, indem man auf ihre Ebene die gefurchten Flächen mit Stempeln aufträgt. Gegen das helle Sonnenlicht gehalten reflectiren sie gegen eine weifse Papierfläche einen Kreis mit sehr vielen höchst lebhaften prismatischen Farbenbildern.

1 In der Figur nicht in seiner ganzen Länge gezeichnet.

sein Licht hereinsendenden Himmels als Spiegelbild in der Mitte des Gesichtsfeldes, daneben an beiden Seiten einen dunkeln Raum, an welchen sich dunkel violett, blau, grün, gelb, roth, so anschliefst, dafs Roth in dieser Farbenfolge den entferntesten Platz einnimmt. An diese erste Farbenfolge schliefst sich eine zweite, — nur durch einen kleinen dunkeln Raum von jener getrennt, — die breiter aber minder lebhaft ist und eben die Farben enthält. Die dritte Farbenfolge, die noch mehr Raum einnimmt, bekömmt man zu sehen, wenn man den Zeiger bis zu 26° fortrückt, sie fängt mit einer wenig erleuchteten Farbenmischung, die sich als ein sehr dunkles Grün zeigt, an; daran grenzt ein ins Rothe fallendes Violett, dem ein reines Blau (das Blau der dritten Ordnung) folgt. Dreht man den Zeiger weiter, so zeigt sich ein schmutziges, ins Gelbliche hinübergehendes Weifs, dann reines Gelb, schönes helles Roth, Purpur, Blau (also Blau der vierten Ordnung); diese Farben treten nach und nach, so wie man weiter dreht, ins Gesichtsfeld, und endlich folgt mit immer minderem Lichte Grün, schmutziges Gelblichgrün, an welches röthliches Violett grenzt, und zuletzt das fünfte Blau, wenn das Auge senkrecht in den Spiegel sieht. An der andern Seite ist die Folge der Farben ziemlich, jedoch nicht ganz so; der Unterschied hat seinen Grund in der beim Drehen der Axe anders bestimmten Lage der Spiegelfläche gegen das Auge.

Bedient man sich des Rohres, das eine enge Oeffnung, um dem Auge seinen bestimmten Platz anzuweisen, hat, so kann man genauer angeben, wann jede Farbe in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint. Richtet man dann den offenen Spalt nach der Sonne zu und stellt das Auge so, dafs es von dem zurückgeworfenen Glanze nicht zu sehr geblendet wird, so erscheinen nicht blofs die auf der Stahlplatte sich darstellenden Farben im schönsten Glanze, sondern man sieht auch den Wiederschein derselben an der innern Wand des Rohres ganz wie prismatische Bilder vorbeigehen.

Um über die genaue Lage, wobei jede einzelne Farbe reflectirt wird, unterrichtet zu seyn, mufs man die verschiedenen durch das Prisma getrennten Farbenstrahlen auf den Spalt fallen lassen, wobei man zugleich die Farben-Erscheinungen auf eine ungemein schöne Weise, jede Farbe vollkommen rein und bei

fortwährend geänderter Stellung der Axe periodisch mit erneuertem Glanze wiederkehrend sieht[1].

Biot erklärt diese Phänomene eben so, wie die bei der Beugung[2] entstehenden. Er beobachtete ihr Entstehen theils auf sehr schmalen, oder wegen der sehr geneigten Lage des ausfallenden Strahles wenigstens als sehr schmal erscheinenden polirten Flächen, theils auf gefurchten Flächen. Im letzteren Falle nimmt er an, die im Boden der Furche reflectirten Strahlen würde an den Rändern der Furche der Wirkung der Beugung oder Diffraction ausgesetzt; aber auch die schmalen, zwischen den Furchen liegenden Streifen werfen seiner Meinung nach ein durch Diffraction modificirtes Licht zurück[3].

Auch Fraunhofer stimmt in diese Erklärung ein. Er liefs das Licht von einer mit Goldblättchen belegten Glasplatte, wo im Goldblättchen feine Parallellinien radirt waren, zurückwerfen, und fand eben solche Farbenspecter, als wenn das Licht durch ein aus nahe bei einander stehenden Parallellinien gebildetes Gitter gegangen wäre[4].

25. Ueber das *Farbenspiel auf Perlmutter* hat Brewster genaue Beobachtungen angestellt[5]. Auch da hängt das Phänomen von Furchen auf der Oberfläche ab, und zeigt sich am regelmäfsigsten, wenn die Blättchen parallel sind. Betrachtet man die Oberfläche des Perlmutter mit starker Vergröfserung, so erkennt man diese Furchen, die sich durch kein Schleifen oder Poliren fortschaffen lassen. Bei regelmäfsiger Bildung des Perlmutter sind diese feinen Furchen parallel, sonst oft auch in allerlei Richtungen gekrümmt. Die Furchen sind zuweilen schon mit achtmaliger Vergröfserung zu erkennen, oft aber so eng, dafs man 3000 Furchen auf einen Zoll rechnen kann. Drückt man die Oberfläche des Perlmutter in Kitt, in feines schwarzes Siegellack, in Wachs, in arabischen Gummi, in Goldblättchen,

1 Eine umständlichere Erzählung würde hier zu viel Platz rauben, ich hoffe sie an einem andern Orte mitzutheilen. Das Instrument selbst möchte ich das *Hoffmann'sche Inflexioskop* nennen, da es die Erscheinungen der Inflexion zeigt. Hoffmann selbst nennt es *Chromadot*, Farbengeber.

2 S. Art. *Inflexion*.

3 Biot Tr. d. ph. IV. 772.

4 Schuhmacher's astron. Abh. 2tes Heft. S. 97.

5 Philos. Trans. for 1814. p. 397.

die auf Wachs liegen, ab, so zeigen diese Körper eben die Eigenschaften in Beziehung auf das reflectirte Licht.

Nach Brewster's Beobachtungen zeigt sich auf regelmäfsigen, gut geschliffenen, aber nicht polirten Perlmutterstücken aufser dem Hauptbilde eines Lichtes noch ein doppeltes farbiges Nebenbild, und die Lage dieser Bilder hängt von der Stellung der Perlmutterplatte ab. In dem schön gefärbten Nebenbilde, welches dem Hauptbilde am nächsten lag, zeigte sich das Blau diesem am nächsten; das entferntere Bild lag immer mit jenen beiden in derselben geraden Linie, zeigte sich als eine undeutlicher begrenzte Licht-Erscheinung, die bei grofsen Einfallswinkeln schön roth, bei kleinern grün, bei noch kleinern gelblich weifs war; die Farben hingen mit von der Dicke des Blättchens ab. Wird die Oberfläche polirt, so sieht man an der entgegengesetzten Seite ein dem ersten Nebenbilde ähnliches Bild[1].

Ich bin ungewifs, ob auch das Opalisiren hierher gehört; es scheint ebenfalls in der Lage der Blättchen des opalisirenden Körpers — des Opals, des Schillerspaths, des Labradors, des opalisirenden Muschelmarmors — seinen Grund zu haben. Ob das Farbenspiel des Dichroits und ähnlicher dichroitisch farbenspielender Körper mehr hiermit oder mit der Polarisirung des Lichts zusammenhängt, scheint auch noch unentschieden.

Paroptische Farben.

26. *Paroptische* nennt v. Göthe die Farben, die sich um das durch sehr enge Oeffnungen in das dunkle Zimmer einfallende Licht zeigen. Man hat sie auch perioptrische genannt. Da das, was man, um sie zu erklären, anführt, im Art. *Inflexion* vorkommt, so erzähle ich hier nur kurz die Erscheinungen.

Läfst man den Sonnenstrahl durch eine nicht allzu kleine runde Oeffnung in das dunkle Zimmer einfallen, und fängt man ihn auf einer weifsen Tafel auf, so zeigt sich das runde Sonnenbild gleichförmig weifs. Stellt man aber diesem Strahle einen undurchsichtigen Körper entgegen, in welchem nur eine Oeffnung wie ein feiner Nadelstich angebracht ist: so zeigen sich um das auf einer weifsen Tafel aufgefangene, von den durch

---

1 Der Art. *Zurückwerfung*, ungewöhnliche, wird das Nähere angeben.

diese kleine Oeffnung gehenden Strahlen hervorgebrachte Sonnenbild farbige Kreise. Diese Farbenringe haben ihr Violett und Blau innen, ihr Orange und Roth aufsen. Bringt man das Auge an die kleine Oeffnung und sieht nach der gröfsern, durch welche das Licht eingelassen wurde, so sieht man diese mit Farbenringen umgeben, die nichts anders sind, als der Eindruck eben derjenigen Farben auf die Netzhaut des Auges, welche wir bei dem vorigen Versuche an der Wand sahen.

Wie viel schöner diese Farben-Erscheinungen sich zeigen, wenn man den leuchtenden Gegenstand durch ein Netz sehr feiner gleich weit von einander gezogener Fäden ansieht, hat Fraunhofer sorgfältig untersucht und beschrieben. Die wiederholten Farbenbilder kehren immer ihr Violett gegen das Hauptbild zu, ihr Roth davon abwärts. Aehnliche farbige Bilder der Lichtflamme sieht man, wenn man zwischen den Augenwimpern durch auf die Lichtflamme blickt. Am schönsten nimmt man sie wahr, wenn man die unbeschädigte Fahne einer Rabenfeder vor das Auge hält, und die Sonne hindurch anblickt. Die Erscheinungen, wie sie durch zwei oder mehr einander ganz nahe feine Oeffnungen sich darstellen[1], findet man bei Fraunhofer abgebildet.

Man erklärt aus diesen paroptischen Erscheinungen die Höfe um Lichter und um Sonne und Mond, die durch Dünste oder Wolken hervorgebracht werden.

Natürliche Farben der Körper.

27. Es ist eine bekannte Erfahrung, dafs die Farbe der Körper, die wir ihre *natürliche Farbe* nennen, von dem auf sie fallenden Lichte abhängt. Die Gegenstände, die wir im hellen Tageslichte weifs nennen, erscheinen uns roth, wenn die roth untergehende Sonne sie bescheint, und wegen des gelben Lichtes, welches unsere Kerzenlichter und Lampen geben, irren wir uns nicht selten in der Farbenbestimmung, indem wir bei Kerzenlichte zuweilen das für grün halten, was uns am Tage blau erscheint u. s. w. Noch auffallender wird dieses, wenn das farbige Licht, wie es von durchsichtigen, farbigen Körpern durchgelassen oder durch Zerlegung der weifsen Strahlen vom

1 Fraunhofer über neue Modificationen des Lichts in Schumacher's astron. Abh. 2tes Heft.

Prisma hervorgebracht wird, die Körper erleuchtet; denn da erscheint uns im blauen Strahle des durchs Prisma gebrochenen Lichtes ein Körper, der irgend bedeutend viel Licht zurückwirft, blau, wenn er auch im gewöhnlichen Lichte roth erschien.

Die auffallendsten Beweise für die Behauptung, dafs die Farben der erleuchteten Körper von dem Lichte, welches auf sie fällt, abhängen, geben einige künstliche Beleuchtungen. Wenn man einen baumwollenen Docht mit gewöhnlichem Küchen - Salze stark einreibt, so dafs er viele Salztheilchen zwischen seinen Fäden enthält, und ihn dann in eine Weingeistlampe gesetzt anzündet, so giebt er ein hinreichend helles, fast ganz einfarbiges, gelbes Licht. Von der — zwar nicht ganz vollkommen, aber doch sehr wenig von der Vollkommenheit abweichenden — Homogeneität dieses Lichts überzeugt man sich, wenn man die Flamme durch ein Prisma besieht, wo sich an ihr gar kein Roth oder Grün, oder Blau, sondern neben der rein gelben Flamme nur ein sehr mattes violettes Bild zeigt; dieses Violett ist aber so matt, dafs es auf die gleich zu beschreibenden Phänomene keinen merklichen Einflufs zeigt, so dafs ich die Flamme beinahe als ein einfarbiges Gelb ansehen darf. Diese Flamme zeigt nun im völligen Dunkel eine völlige Aufhebung aller Farben, das Gelb ausgenommen. Alles Roth, das ein wenig ans Gelbe grenzt, zeigt sich in diesem Lichte schmutzig gelb, aber durchaus ohne Roth. Ein Roth, das ganz von Gelb frei ist, erscheint schwarz oder allenfalls ein wenig in Braungelb hinübergehend; helles Grün, helles Blau erscheint grau oder gelblich - grau. Betrachtet man zum Beispiel die schöne Farbentafel in Göthe's Farbenlehre (Tab. III.) so erscheint das Weifse und Gelbe gelblich - weifs, das Roth schwärzlich - grau, das Blau völlig schwarz; dafs andere Farben vorkommen, bemerkt man durchaus nicht[1].

Wenn wir also einem Körper eine Farbe beilegen, die ihm eigenthümlich ist, so darf man dieses zwar nicht so verstehen, als ob diese Farbe ihm, wie Härte, Weichheit und andere Eigenschaften, immer eigen sey; denn ohne Licht ist die Farbe nichts. Aber gleich wohl ist der Ausdruck, die Farbe

1 Mehrere ähnliche Versuche beschreibt Talbot Edinb. Journ. of Science. No. IX. p. 77. Brewster's monochromatische Lampe leistet etwas Aehnliches. Poggendorf's Annalen II. 98.

sey dem Körper *natürlich* und *eigenthümlich*, deswegen verstattet, weil er die Eigenschaft besitzt, da, wo alle Farbenstrahlen, im weifsen Lichte, ihn treffen, unserm Auge gerade diejenigen Farbenstrahlen zuzusenden, die wir als seine eigenthümliche Farbe ansehen. Indefs darf man nicht glauben, dafs der rothe Körper einzig die rothen Strahlen zurückwerfe. Dafs dieses nicht im strengsten Sinne so sey, erhellet schon daraus, weil der Körper sonst im blauen Sonnenlichte, wie das Prisma es darstellt, vollkommen dunkel erscheinen müfste, wenn er gänzlich unfähig wäre, andere als rothe Strahlen zurückzuwerfen; es zeigt sich uns aber auch, wenn wir gefärbte Körper durch das Prisma betrachten, wo sie sich uns fast allemal mit Farbenrändern, worin andere Farben kenntlich sind, zeigen. Die Oberfläche der rothen Körper wirft nämlich zwar vorzüglich rothes Licht zurück, und absorbirt einen grofsen Theil der übrigen Farbenstrahlen oder macht sie unwirksam; aber dennoch ist fast immer noch ein geringer Antheil weifsen Lichtes dem rothen beigemischt und so in allen Fällen [1].

Wie es sich mit der Modification des Lichtes eigentlich verhält, vermöge welcher gewisse Farbenstrahlen von den Körpern vorzugsweise zu unserm Auge gelangen, ist schwer zu bestimmen, doch geben folgende Ueberlegungen einige Aufschlüsse, wenn sie gleich noch vieles zu erklären übrig lassen. Eben so wie bei den weifsen Körpern immer ein grofser Theil des Lichtes verloren geht, und nur ein Theil in dem, was wir Erleuchtung einer Fläche nennen, uns sichtbar wird, eben so geschieht es auch hier, nur mit dem Unterschiede, dafs dieses verloren gegangene Licht hier nicht für alle farbigen Strahlen einerlei Verhältnifs zu dem zurückgeworfenen oder von der Oberfläche des Körpers zurückgesendeten Lichte hat. — Auch bei den Körpern, die wir weifs nennen, ist die Menge des absorbirten Lichtes sehr ungleich und das Weifs neigt sich zum Grau hin, wenn die erleuchtete Fläche wenig Licht zurückgiebt; eben so ist es auch bei den farbigen Körpern, aber da hier die Absorption für jede Art von Strahlen eine andere ist, so entsteht die unendliche Mannigfaltigkeit von Farben und Farbenmischun-

---

1 Indefs zeigen die eben erwähnten Versuche, dafs diese Beimischung doch oft sehr geringe ist.

gen in allen auch nur möglichen Graden von Lebhaftigkeit und Glanz, von Helle oder Tiefe.

Von dem Einflusse, den die absorbirten Strahlen auf den Körper haben, der sie anscheinend in sich aufnimmt, wissen wir wenigstens das, dafs sie auf die Erhöhung der Temperatur einwirken, und dieses ziemlich in einem Grade, den man der Menge des absorbirten Lichtes proportional nennen möchte, wenn gleich diese Menge nicht so genau bestimmbar ist.

Boyle hat schon durch eine Reihe von Versuchen das näher bestimmt, was allerdings schon aus gewöhnlicher Erfahrung bekannt seyn mufste, dafs schwarze Körper sich mehr erhitzen, als weifse. Er zeigte auch, dafs schwarze Körper wenig Wärme reflectiren[1]. Später hat Franklin, indem er das Schmelzen des Schnees unter darauf gelegten ungleichfarbigen Körpern beobachtete, die Ungleichheit der Erwärmung bei verschiedene Farben nachgewiesen. Etwas mehr leisten Leslie's Versuche[2], der die Kugeln von Thermometern mit verschiedenen farbigen Ueberzügen versah, und das ungleiche Steigen der Thermometer beobachtete. Er liefs auch das von farbigen Flächen reflectirte Licht oder vielmehr die reflectirte Wärme, auf Thermometer mit geschwärzten Kugeln fallen, und fand, dafs rothe Flächen fast eben so viel Licht als weifse zurückwerfen, blaue Flächen dagegen warfen am wenigsten Licht zurück. Böckmann hat ähnliche Versuche angestellt, die überhaupt die verschiedenen Umstände, von denen die Erwärmung durch die Sonne abhängt, betreffen[3].

28. Unter den Erklärungen, wie das Licht an der Oberfläche der Körper modificirt werde, um uns diese als verschiedenfarbig zu zeigen, hat die von Newton[4] aufgestellte Vergleichung mit den Farben dünner Blättchen am meisten Beifall bei den Physikern gefunden. Man könnte die Frage, warum eine bestimmte Fläche nur die bestimmte Art von Farbenstrahlen als eigenthümliche Farbe des Körpers aussendet, dadurch beantworten, dafs man jedem Körper eine bestimmte Affinität zu den

---

1 Priestley's Geschichte der Optik. S. 117. der Uebers.

2 Gilb. Ann. X. 90.

3 Gilb. Ann. X. 359. XII. 404. Böckmann über die Fähigkeit verschiedener Körper, durch die Sonne erwärmt zu werden.

4 Optice Lib. 2. Pars. 3.

verschiedenen Lichtstrahlen zueignete; aber Newton glaubte den Erscheinungen mehr Genüge zu thun, indem er ohngefähr folgende Ansicht faſste:

Bekanntlich entsteht Zurückwerfung der Lichtstrahlen an der hintern Seite durchsichtiger Körper da, wo der Strahl in die Luft hervorgehen sollte. Im Allgemeinen findet Zurückwerfung des Lichtes da statt, wo ein Uebergang aus einem Mittel in ein anderes von mehr oder minderer Brechungskraft vorkömmt, und sie ist um desto stärker, je gröſser diese Ungleichheit der brechenden Kraft ist.

Die undurchsichtigen festen Körper scheinen aus sehr dünnen, durchsichtigen Theilchen zu bestehen, deren Zwischenräume mit Materien, die das Licht weit weniger brechen, angefüllt sind, und die Undurchsichtigkeit entsteht durch die wiederholten Zurückwerfungen im Innern der Körper. Diese dünnen Blättchen, aus welchen die Körper zusammen gesetzt sind, müssen nun, nach Maſsgabe ihrer Dicke und Brechungskraft bald die eine, bald die andere Art von Farbenstrahlen leichter zurückwerfen, während sie die ihnen zugehörenden Ergänzungsfarben leichter durchlassen, gerade so wie es im Art. *Anwandlungen*, und oben bei Gelegenheit der *epoptischen Farben* gezeigt ist.

Einen nicht unwichtigen Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese giebt das Verhalten dünner Goldblättchen, wenn man sie auf helles, weiſses Glas aufklebt, in welchem Falle sie die natürliche Farbe des Goldes reflectiren, die grüne aber durchlassen. Prevost[1] hat aber gezeigt, indem er das Licht wiederholt von den nämlichen polirten Metallflächen reflectirt werden lieſs, daſs alle Metalle durch das zugleich zurückgeworfene viele weiſse Licht eine andere Farbe zeigen, als sie wirklich haben, und daſs es somit namentlich kein eigentlich weiſses Metall giebt. Das Gold erschien auf diese Weise roth, und in den dünnsten Blättchen zeigt es also durch Reflexion die durch vieles Weiſs zum Gelben modificirte rothe Farbe, während die grüne Farbe durchgelassen wird, welche jener als complementäre zugehört[2]. Mit andern Metallen, deren vielleicht keines Blättchen von hinlänglicher Feinheit liefert, hat man bisher

1 Ann. Ch. et Ph. IV. 192. 436.

2 Vergl. oben No. 21. unten No. 29.

noch keine Versuche zur weiteren Prüfung der Sache angestellt.

Bei einigen Körpern bemerken wir die Uebereinstimmung ihrer Farben-Erscheinungen mit denen dünner Blättchen daran noch auffallender, daſs sie uns bei verschiedener Stellung des Lichts und des Auges andere Farben darbieten, wie zum Beispiel die Federn des Pfauenschweifes. Da aus den Beobachtungen der von dünnen Blättchen zurückgeworfenen und durchgelassenen Farbenstrahlen bekannt ist, wie diese Farben von der Dicke der Blättchen und der Brechungskraft derselben abhängen, so läſst sich umgekehrt aus der Farbe eines Körpers auf die Gröſse dieser Theilchen zurückschlieſsen; jedoch muſs man dabei mit Sicherheit angeben können, zu welcher Ordnung der Farbenringe die Farbe des Körpers zu rechnen sey. Das recht reine und lebhafte Roth und Gelb kömmt nur in der zweiten Ordnung der Farbenringe vor; in der ersten und dritten Ordnung ist es zwar auch noch ziemlich lebhaft, aber das Gelb der ersten Ordnung ist doch matter, und das Gelb und Roth der dritten Ordnung mit Blau und Violett gemischt; die grünen Farben sind in der dritten Ordnung am reinsten; das reinste und glänzendste Weiſs muſs man als der ersten Ordnung zugehörig ansehen, (z. B. die weiſsen Metalle,) minder reines Weiſs dagegen entsteht bei gröſserer Dicke der Theilchen aus einer Mischung aller Farben.

Dies sind ungefähr Newton's Ansichten, auf welche er und andere Physiker weitere Schlüsse gebaut haben. Biot macht die Bemerkung, daſs der Einwurf, es müsse sich bei anderer Lage des Auges gegen die Fläche, welche das Licht auffängt, eine andere Farbe zeigen, gehoben werde, wenn man diesen kleinen Theilchen der Körper eine sehr starke Brechungskraft beilege, — und diese könne stark seyn, wenn auch der Körper im Ganzen das Licht nicht so sehr breche[1].

Einige chemische Veränderungen der Farben, wohin man auch die allmäligen Farbenwechsel im Pflanzenreiche rechnen kann, glaubt Biot auch nach dieser Ansicht erklären zu können. Das Grün der Blätter ist von Newton mit Grund als ein Grün der dritten Ordnung angesehen worden. Wenn nun irgend eine Aenderung, z. B. beim Welken der Blätter, vorgeht,

---

1 Biot IV. 126. 132.

wodurch die Dicke der Theilchen eine Zunahme und die Farbe eine absteigende Aenderung (nach der Ordnung der Farbenringe absteigend) erleidet, so muſs dem Grün ein Gelb, dann Orange, dann Roth folgen, so wie das Abwelken weiter fortschritt. Biot glaubt, so lange die vegetative Kraft sich noch mehr und mehr entwickelt, gehe die Farbe zu Ringen steigender Ordnung über, hingegen zu herabsteigender Ordnung, wenn die Pflanze zu welken anfängt. Die jungen Eichenblätter gehen vom Roth ins Gelblichgrün und Grün über, so wie in dem dritten Farbenringe durch zurückgeworfene Strahlen die Farben einander folgen, wenn man von den äuſsersten Farben in demselben nach innen fortschreitet. Wenn die Blume des Geiſsblattes sich öffnet, so zeigt sie ein reines Weiſs der ersten Ordnung, welches sich nach und nach ins Gelbliche zieht, wenn sie welkt[1]. Das Geranium sanguineum hat in seiner besten Blüthe ein violettliches Roth, welches als der Uebergang von dem Roth der ersten Ordnung zum Violett der zweiten Ordnung anzusehen ist; beim Welken wird sie blau — blau der zweiten Ordnung. —

Nach diesen Ansichten hat man nun bei mehrern Körpern die Dicke der Blättchen anzugeben gesucht. Das tiefste Schwarz, wo fast im strengsten Sinne gar kein Licht zurückgeworfen ward, beobachtete Brewster an einem merkwürdigen Stücke Quarz, das an seinem Bruche vollkommen schwarz erschien; er bemerkt, dieses müsse dasjenige wahre Schwarz seyn, welches bei Glas nur dann entsteht, wenn das Blättchen ¼ des Milliontheils eines Zolles dick ist, und so dick etwa müſsten die Quarztheilchen hier seyn[2].

Newton selbst hat schon ähnliche Betrachtungen über die Gröſse der Quecksilbertheilchen angestellt[3], die Biot auf Gold, Silber u. a. erweitert.

29. Die *Intensität* des farbigen Lichtes, welche feste Körper zurückwerfen, hat Lambert untersucht[4]. Um zum Bei-

---

1 Daſs Roth der auffallenden Blume müſste dann wohl das gleich nachher erwähnte Roth im Uebergange von der ersten zur zweiten Ordnung seyn.

2 Poggendorfs Annalen. II. 295.

3 Optice. Lib. II. Pars. 3. Props. 6.

4 Photometria. p. 512 u. f.

spiel zu bestimmen, ob rothes Siegellack die rothen Lichtstrahlen eben so gut und im Verhältniſs der auffallenden eben so reichlich zurückwerfe, als weiſses Papier die Strahlen aller Farben zurückwirft, legte er Siegellack auf weiſses Papier, so daſs beide vom hellen Sonnenlichte gleich beleuchtet wurden. E. sah nun das Papier durch ein Prisma an, und zwar in einer solchen Stellung, daſs der rothe Farbenrand zunächst an dem Siegellack erschien, und verglich das so sich zeigende Roth mit einander. Da sich bei dieser Vergleichung kein Unterschied zwischen dem Roth des Siegellacks und jenes Randes fand, so schloſs er, die rubedo des Siegellacks sey der albedo des Papiers gleich zu achten, oder vielmehr, weil die farbigen Strahlen des Papiers durch das Prisma gingen, statt daſs das Siegellack mit bloſsem Auge angesehen wurde, jene sey etwa um ein Viertel geringer als diese.

Dies Experiment könnte man, glaubt Lambert, für Roth und Violett immer anwenden, und da die Intensität der Farben geringer sey, einen weiſsen Körper von geringerer Weiſse anwenden. Für die Farben, welche den mitten im Farbenspectrum liegenden Strahlen entsprechen, lasse sich diese Vergleichung nicht gut gebrauchen. Folgendes Hülfsmittel könne dagegen allemal zur Vergleichung dienen. Man lasse in das recht sorgfältig verfinsterte Zimmer durch zwei runde Oeffnungen Licht einfallen, lasse Lichtstrahlen auf ein Brennglas fallen, und nachdem sie durch dieses gegangen und vom Prisma aufgefangen sind, stelle man den beiden Lichtstrahlen in der angemessenen Entfernung, um das Bild der runden Oeffnung deutlich zu zeigen, eine farbige und eine weiſse Tafel entgegen. Ist die farbige Tafel zum Beispiel grün, so sehe man, ob das Grün des prismatischen Bildes auf der grünen und auf der weiſsen Tafel gleich lebhaft erscheint, und wenn das nicht der Fall ist, so gebe man derjenigen Tafel, die eine Farbe von gröſserer Intensität zeigt, eine solche Neigung, daſs die farbige Erleuchtung sich als gleich zeigt; daraus läſst sich, nach den im Art. *Erleuchtung* gegebenen Regeln berechnen, wie sich dies bei senkrechter Erleuchtung von beiden Flächen zurückgeworfene Licht verhält.

Diese Methode läſst sich sogar anwenden, um die Frage zu beantworten, wie viel rothe Strahlen die grün gefärbte Fläche zurückwirft. Man muſs nämlich dann der weiſsen Fläche

diejenige Neigung geben, wobei das Roth der beiden Farbenbilder gleich lebhaft erscheint, und so erhellet, wie LAMBERT von der rubedo eines mit Grünspan (essigsaurem Kupferoxyd.) gefärbten Papiers sprechen kann. LAMBERT hat wenige Versuche, die diesen Gegenstand betreffen, angestellt; es wäre wohl der Mühe werth, wenigstens einige Proben, wie weit sich Uebereinstimmung in die Versuche bringen lasse, zu geben.

Eine Bemerkung von PREVOST will ich hier noch beifügen. Wenn man das von polirtem Golde zurückgeworfene Licht auf einem ebenen, spiegelartig polirten, Golde auffängt, so erscheint hier das Gelb des Goldes viel tiefer, fängt man das abermals zurückgeworfene Licht auf einem Golde, Spiegelplättchen auf, so ist die Farbe noch mehr dem Orange zugegangen. Dies rührt daher, weil das reflectirte Bild theils aus Strahlen besteht, die als weifse Strahlen zurückgeworfen werden und vermöge welcher allein schon das Gold in seiner gewöhnlichen Farbe erscheinen würde, aber auch theils aus gelben Strahlen besteht, die nicht nach den bloſsen Gesetzen der Spiegelung, sondern nach den Gesetzen der zerstreuten Zurückwerfung, wobei nur *eine* Farbe ausgesandt wird, eben dorthin gelangen, und die dort entstehende Farbe verstärken.

Durch diese wiederholte Abspiegelung lernt man also besser die eigentliche Farbe des Körpers kennen. Silber zeigt sich auf diese Weise nicht weiſs sondern gelb, so daſs das Weiſs nur als Beimischung des unzerlegten zurückgeworfenen Lichtes, welches von der Farbe des Körpers unabhängig ist, angesehen werden muſs[1].

30. In Beziehung auf die durchsichtigen Körper, welche sich uns farbig zeigen, scheinen zwei Hauptfälle statt zu finden. Entweder es werden alle Arten von Farbenstrahlen ziemlich gleichförmig absorbirt, aber nur gewisse Farbenstrahlen zurückgeworfen, andere durchgelassen; oder es werden gewisse Farbenstrahlen gänzlich absorbirt, und die übrigen theils zurückgeworfen, theils durchgelassen. Der erste Fall scheint in der Atmosphäre in einem sehr vollkommenen Grade statt zu finden[2], und daher erscheint uns diese blau durch reflectirte Strahlen und gelbroth vermöge der durchgelassenen Strahlen. Immer sind es

---

1 Annales de Chimie et de Physique. IV. 192. 436.

2 Vergl. *Abendröthe.*

hier die Ergänzungsfarben, zu den durch Zurückwerfung gesehenen, welche sich uns als durchgelassene zeigen, und wo sie es nicht genau sind, da hat dieses darin seinen Grund, daſs nicht völlig eine gleichmäſsige Absorption aller Farbenstrahlen statt findet.

Auch im Wasser scheint ein ähnliches Gesetz der Zurückwerfung und Durchlassung statt zu finden. Newton erzählt[1], daſs Halley in der Taucherglocke in bedeutender Tiefe im Meere die von den durchs Wasser gehenden Strahlen der Sonne erleuchteten Gegenstände roth sah (colore roseo), dagegen warf das unterhalb befindliche Wasser ein grünes Licht zurück. Da auch an der Oberfläche des Meeres das Wasser grün erscheint, so muſs man schlieſsen, daſs es die grünen Strahlen zurückwirft, weil es aber eine groſse Menge Lichtstrahlen von allen Farben durchläſst, auch in der Tiefe noch gemischtes Licht genug erhält, um grüne Strahlen zu reflectiren. Das durchgelassene rothe Licht wurde ein helles Roth[2] wegen der noch beigemischten vielen weiſsen Strahlen. — Es wäre der Mühe werth, diese Halley'sche Erfahrung theils im Meere, theils in Strömen, deren Wasser verschiedene Färbungen zeigt, zu prüfen.

Auch bei kleineren Quantitäten flüssiger Materien kommt etwas Aehnliches vor, daſs sie nämlich blaues Licht zurückwerfen und gelbes oder gelbes und rothes Licht durchlassen. Newton bemerkte diese Eigenschaft an der infusio ligni nephritici; an Glasstücken hat man zuweilen auch Gelegenheit sie wahrzunehmen.

Bei durchsichtigen Körpern dieser Art zeigt sich der Körper oft sehr weiſslich im zurückgeworfenen Lichte, wenn Farben aller Art zurückgeworfen werden, aber zu diesen sich noch Farbenstrahlen *einer* Art, die blauen zum Beispiel, mischen, die sich von den ihnen zugehörigen durchgelassenen getrennt haben, in diesem Falle ist das durchgelassene Licht schwach, aber der Farbe nach die Ergänzung der im zurückgeworfenen Lichte vorherrschenden Farbe. Das weiſse Knochenglas giebt hierzu ein Beispiel; durch zurückgeworfenes Licht erscheint es weiſs, aber in einigem Grade bläulich; die meisten Lichtstrahlen werden also unzerlegt zurückgeworfen, von den übrigen

1 Optice Lib. I. Pars. 2. Propos. 10.

2 Darauf nämlich scheint color roseus hinzudeuten.

dagegen wird nur das Blau zurückgeworfen und die übrigen Farben werden durchgelassen und zeigen uns die weifsen Gegenstände durch Knochenglas gesehen feuerroth.

Andere Körper erscheinen mit einer bestimmten Farbe, man mag sie durch reflectirtes Licht sehen oder das durchgehende Licht beobachten. Hier werden alle andere Farben völlig absorbirt. Herschel hat einige schöne Bemerkungen über diese Arten farbiger durchsichtiger Körper gemacht[1]. Zuerst bemerkt er, dafs einige Gläser gewisse Farbenstrahlen beinahe ganz ungeschwächt durchlassen, während sie andere vollkommen unterdrücken. Bedient man sich ihrer um das durch das Prisma in Farbenstrahlen zerlegte Sonnenlicht durch sie durchgehen zu lassen, so erhält man ein rundes einfarbiges Bild, und wenn man durch sie die vom Prisma gebrochenen Strahlen anderer Körper zum Auge gelangen läfst, so erscheinen diese scharf begrenzt. Andere Körper lassen mehr als eine Art von Farbenstrahlen durch, unterdrücken dagegen die übrigen. Verdünnte Lackmus-Tinctur zum Beispiel läfst gar keine gelbe und fast gar keine grünen Strahlen durch und zeigt daher, wenn man den Sonnenstrahl durch sie gehen läfst, im prismatischen Farbenbilde[2] ein rundes tief rothes Sonnenbild, völlig gesondert von einem länglichen violett und blauen Bilde, das sich sehr matt ins Grünliche hinein verlängert[3].

Eine andere Bemerkung von Herschel betrifft den Fall, wo die durchgelassenen Strahlen zwei Farben enthalten oder wo sich zwei Maxima darstellen, wenn man die Menge der durchgelassenen Strahlen durch Ordinaten in jedem Puncte des Farbenspectrum ausdrückt. Dieser Fall giebt Veranlassung zu der auffallenden Erscheinung, dafs bei einer bedeutend dicken Schicht des durchsichtigen Körpers dieser vermöge der durchgehenden Strahlen anders gefärbt erscheint, als da wo die Schicht dünne ist. Eine Auflösung von Saftgrün sieht, wenn sie eine dünne Schicht bildet, smaragdgrün aus, statt dafs eine dicke Schicht blutroth ist. Dieses erklärt sich aus der ungleichen Intensität der verschiedenen Farben. Wird der beim Eintritt intensivere Strahl in stärkerem Mafse geschwächt, als der min-

1 Phil. Transact. of the Edinb. Soc. IX. 445.

2 Nach meiner eigenen Erfahrung.

3 Vergl. oben No. 8. Anm.

der intensive, so behält jener bei geringer Dicke das Uebergewicht in der Mischung der durchgehenden Strahlen; aber bei gröfserer Dicke geht so viel von ihm verloren, dafs der an sich schwächere sich als vorherrschend zeigt. Da nämlich nach den Gesetzen der Absorption, wenn das Licht bei der Dicke $= 1$ von der Quantität $= a$ zur Quantität $= \mu a$ herabgebracht wird, eben diese Quantität $= a . \mu^t$ wird bei der Dicke $= t$, so kann in der Summe der durchgehenden Strahlen zweier Farben $= a\mu^t + a'\mu'^t$ das eine Glied überwiegend seyn, so lange t klein ist, während das andere überwiegend wird, wenn t grofs ist. Zum Beispiel $10 . \left(\frac{1}{25}\right)^{\frac{1}{2}} + 1 . \left(\frac{24}{25}\right)^{\frac{1}{2}}$ giebt eine Summe, in welchen das erste Glied $= 2$, das zweite nicht völlig $= 1$ ist; aber $10 . \left(\frac{1}{25}\right)^4 + 1 . \left(\frac{24}{25}\right)^4$ giebt eine Summe, in welcher das erste Glied noch keine 3 Milliontel beträgt, während das zweite sich wenig von 1 entfernt hat und noch 0,85 beträgt. Wären also zum Beispiel 10 grüne Strahlen gegen einen rothen im Sonnenlichte und bliebe von jenen nur $\frac{1}{25}$ bei gewisser Dicke $= 1$, übrig, während von diesen $\frac{24}{25}$ übrig blieben, so würde bei der Dicke $= \frac{1}{8}$ eine Farbenmischung entstehen, die durch $10 . \left(\frac{1}{25}\right)^{\frac{1}{8}} + 1 . \left(\frac{24}{25}\right)^{\frac{1}{8}}$ ausgedrückt, ungefähr 6⅔ an Grün und nicht völlig 1 an Roth enthielte, also uns ziemlich rein grün erscheinen würde; bei der Dicke $= 1$ dagegen würde an Grün 0,4, an Roth 0,96; bei der Dicke $= 4$, an Grün fast gar nichts, an Roth noch 0,85 in der Mischung enthalten seyn. Herschel zeigt in einer Reihe von Beobachtungen, wie sich die Erscheinungen in verschiedenen Körpern wirklich verhalten.

Aus Brewster's ganz ähnlichen Beobachtungen [1] führe ich nur an, dafs die Wärme hierin zuweilen eine Aenderung hervorbringt. Purpurglas liefs zum Beispiel erhitzt Farbenstrahlen durch, die es bei niedrigerer Temperatur absorbirt hatte.

Dafs einige doppelte Brechung bewirkende Körper das po-

---

1 Phil. Transact. of the Edinb. Soc. IX. 439.

larisirte Licht in verschiedenen Stellungen ungleich absorbiren, zeigt Brewster[1].

Veränderungen, welche die Farben der Körper erleiden.

31. Da die vielen Erscheinungen, welche die Chemie darbietet, wo nämlich die Farben der Körper durch chemische Einwirkung geändert werden, mir lange nicht vollständig bekannt sind, so wünschte ich sehr, diesen Gegenstand von einer geschicktern Hand bearbeitet zu sehen; indeſs scheinen auch die Resultate aller bisherigen Beobachtungen noch zu wenigen festen Regeln geführt zu haben, und ich begnüge mich daher nur einige Erfahrungen mitzutheilen[2].

Die bekannteste Erfahrung ist, daſs blaue Pflanzensäfte mit Säuren gemischt, eine rothe Farbe zeigen, mit Alkalien gemischt ins Grüne übergehen. Daſs man hier zuweilen bei gehöriger Vorsicht die ganze Reihenfolge der Farben beobachten kann, verdient bemerkt zu werden[3]. Wenn zum Beispiel die blaſs violette Tinctur der hemerocallis coerulea durch eine Säure geröthet ist und man in einem hohen Glascylinder kohlensaures Kali sich langsam mit jener Flüssigkeit mischen läſst, so sieht man unten eine grüne Schicht, über welcher sich blau, dann violett und zu oberst roth zeigen.

Delaval[4] glaubt, die Säure mache die Theilchen der Körper feiner zertheilt und aus diesem Grunde gehe die Farbe in eine solche, wie sie dünnern Blättchen entspreche, über; bei der Einwirkung der Alkalien erfolge das Entgegengesetzte. Hiernach sollte man also sagen, der rothe, wenig violette Extract aus violetten Blumenblättern steige in der Farbenfolge der Newton'schen Tafel zum Gelb, wenn man Säuren hinzuthut,

---

1 Edinburgh Philos. Journal. No. IV.

2 Daſs die Bemerkungen in v. Göthe's Farbenlehre, 1. Theil. 8. Abth. gelesen zu werden verdienen, leidet keinen Zweifel.

3 Schweigger's Journal neue Reihe 16. Band, S. 294. Eben das findet nach Delaval S. 19. bei genauen Versuchen öfter statt, zuweilen aber sah er einen Uebergang durch einen fast farbenlosen Zwischenraum. S. 22.

4 Recherches experim. sur la cause des changemens de couleurs dans les corps opaques Paris. an. 4. de la Republ.

und steige herab zum Blau und Grün bei zugetröpfeltem Kali[1]. Delaval wendet dies auf die Aenderung der Farben, bei reifenden Früchten an. Vom Grün, welches die noch saure Frucht zeigt, geht die Farbe bei abnehmender Säure durch Gelb zum Roth über.

Dafs die Farben beim Anlaufen des Stahls eine ähnliche Farbenfolge zeigen, ist bekannt: sie fangen mit Gelb an, gehen durch dunkleres Gelb, (ohne dafs die Stufe des Rothwerdens sich wahrnehmen läfst) in Purpur, tiefes Blau, in Hellblau über, welches wenn das Roth vorkäme, eine ganz genaue Farbenfolge in absteigender Ordnung (vom Gelb der ersten Ordnung bis zum Hellblau der zweiten Ordnung) geben würde.

Aehnliche Aenderungen der Farbe durch Wärme, bei einer ganzen Reihe von Körpern, werden in den Annales de Chimie[2] erzählt, und auch hier sind die Uebergänge von Gelb in Roth oder sogar durch Roth in Violett, bei andern vom bläulich Grün ins gelblich Grüne, oder vom Blau ins Grün, dieser absteigenden Farbenfolge gemäfs. Hierher gehören ferner die Erscheinungen des mineralischen Chamaeleon[3] und eine Menge andere, welche die chemischen Operationen höchst zahlreich darbieten.

Doch, es mag an der Erzählung dieser Fälle, zu denen sich aus Delaval leicht mehrere hinzufügen liefsen, genug seyn. Dafs man diese Farbenfolge als allgemein geltend ansehen dürfe, ist wohl nicht zu behaupten. —

Ueberhaupt läfst alle bisherige Untersuchung in dieser ganzen Lehre noch viel zu wünschen übrig.

Physiologische Farben.

32. Wenn wir eine Farben-Erscheinung unter bestimmten Umständen so wahrnehmen, dafs wir durch theoretische Gründe oder durch Erfahrung die Ueberzeugung haben, jedes gesunde Auge müsse die Farbe eben so sehen, so nennen wir die so zu beobachtende Farbe *objectiv*, wir suchen die Ursache der Farbe

---

1 Delaval p. 20.

2 Tome LXXXIII. 171. auch in Biot. Traité de phys. Tome IV. p. 136. kommen hierher gehörige Erscheinungen vor.

3 S. Th. II. S. 91.

in dem erleuchtenden Lichtstrahle oder in den Eigenthümlichkeiten der erleuchteten Fläche. Dagegen giebt es andere Farben-Erscheinungen, die nur bei bestimmter Affection des Auges hervorgehen, und diese nennen wir *subjective*, oder *physiologische*, von der Affection des Organs abhängige Farben-Erscheinungen, weil hier das eine Auge Farben an demselben Puncte, in derselben Stellung sieht, wo ein anderes, nicht denselben Affectionen unterworfenes Auge sie nicht sieht. Diese anscheinende Zufälligkeit ist Ursache, dafs man diese Farben selbst *zufällige colores adventitii*, *colores accidentales*, couleurs accidentelles, *ocular spectra* genannt hat, obgleich auch sie nach sehr bestimmten Gesetzen hervorgehen.

33. Um sie richtig zu beurtheilen, müssen wir von verwandten, wenn gleich farbenlosen Erscheinungen anfangen. Wenn man das Auge auf eine schwarze Fläche, einen schwarzen Kreis zum Beispiel, richtet, der auf weifsem Grunde liegt, so wird man sehr bald gewahr, dafs die umgebende weifse Fläche unmittelbar an jenem schwarzen Gegenstande weifser, glänzender erscheint, als in gröfserer Entfernung von demselben; dagegen, wenn man eine weifse Kreisfläche, die von Grau umgeben ist, mit angestrengtem Blicke betrachtet, so erscheint das Grau nahe um die weifse Fläche dunkler, als der weiter entfernte Theil. Eben dahin gehört die Erfahrung, dafs man im geschlossenen Auge das Bild eines Fensters mit dunkeln Scheiben und hellem Fensterkreuz nebst hellen Einfassungen der Scheiben, zu sehen glaubt, wenn man ein auf den hellen Himmel hinaus gerichtetes Fenster lange genug, mit einiger Anstrengung des Auges, angesehen hat.

Alle diese und ähnliche Erfahrungen kommen darauf zurück, dafs ein durch stärkeres Licht mehr gereizter Theil der Netzhaut abgestumpft wird, und daher, wenn er nun eben so, als die umgebenden Theile, von mäfsigem Lichte angeregt wird, sich minder empfänglich zeigt, oder uns die Empfindung matteren Lichtes wahrnehmen läfst. Hat dagegen ein Theil der Netzhaut, auf welchem der dunkle Gegenstand sich abbildete, Ruhe genossen, indem wenig oder gar kein Licht auf ihn fiel, so ist er jetzt empfänglicher für den Eindruck des Lichts, und wenn dann die Strahlen des Weifs oder des Grau bei einer etwas veränderten Richtung der Augen-Axen eben dahin fallen, so ist unsere Empfindung so, als ob das Weifs

glänzender, und das Grau heller wäre. Und eben so macht das schwache Licht, welches durch das geschlossene Auge noch unsere Seh-Organe trifft, auf diejenigen Theile der Netzhaut den schwächsten Eindruck, welche eben durch das stärkere Licht des durch die Fensterscheiben gesehenen hellen Himmels gereizt waren, während die Theile, auf welchen die dunkelen Fensterkreuze und Einfassungen der Scheiben sich abbildeten, jetzt für den Eindruck des schwachen Lichts empfänglicher sind.

Hiermit stimmen nun die Farben-Erscheinungen überein, die sich dem Auge darbieten, wenn es lange und angestrengt auf einen farbigen Gegenstand gerichtet gewesen ist, und dann auf eine weiſse Fläche gerichtet wird. Man lege seidenes Band von irgend einer recht reinen, lebhaften Farbe auf ein schön weiſses Papier, richte, während Band und Papier von nicht zu schwachem Tageslichte erhellet sind, das Auge darauf, so als ob es darauf ankäme, jedes feinste Pünctchen des Bandes genau wahrzunehmen: so bemerkt man sehr bald, daſs der zugleich mit im Gesichtsfelde des Auges liegende Theil des weiſsen Papiers farbig erscheint, und zwar die Farbe zeigt, die als Ergänzungs-Farbe der Farbe des Bandes zugehört. Diese Färbung zeigt sich am lebhaftesten dicht um den Rand des farbigen Bandes, und wenn man mit einiger Aenderung der Richtung der Augen-Axe auf diesen Rand sieht, so erkennt man hier die Ergänzungsfarbe am deutlichsten, und weiterhin, an den äuſsersten Grenzen des Gesichtsfeldes glaubt man eher wieder einen schwachen Schimmer der Farbe aus dem Weiſs hervortreten zu sehen, welche dem Bande eigen ist. Zieht man, nachdem der farbige Rand um das Band sich zu zeigen anfing, ohne die Richtung des Auges zu ändern, das Band weg: so erscheint die ganze Fläche, die vorhin das Band bedeckte, zwar blaſs, aber doch schön und rein mit jener Ergänzungsfarbe ausgestattet. War das Band rosenroth, so ist diese hervorgehende Farbe, diese, wie v. Göthe es ausdrückt, *geforderte* Farbe, ein schönes Grün; war das Band grün, ohne sich merklich ins Blau oder ins Gelb hinüber zu neigen, so ist die geforderte Farbe ein schönes Rosenroth; war das Band hellgelb, so zeigt sich nachher ein blasses Violett, und der Blick auf violettes Band bringt nachher die Erscheinung des strohgelben hervor, dunkles Gelb, etwas ins Orange hinneigend, zeigt uns nachher ein Hellblau, so wie umgekehrt das hellblaue Band die weiſse Fläche nach-

her in hellem orangefarbenen Lichte zeigt. — Man kann leicht eine Reihe Versuche mit mancherlei Abstufungen von Farben anstellen, wozu die seidenen Bänder wegen ihres reinen Farbenglanzes sich besonders geeignet zeigen, und immer wird man diese Behauptung, daſs die Ergänzungsfarbe, zwar mit vielem Weiſs gemischt, aber dennoch deutlich hervortritt, bestätigt finden.

Man kann den eben erzählten Versuch auch so abändern, daſs man ein grünes Band auf rosenrothen Grund legt, und nachdem man das Grün lange scharf angesehen hat, nach dem rothen Grunde blickt, oder die dem Grün zunächst liegenden Theile des Roth betrachtet; dann erscheint da, wo bei weiſsem Grunde die geforderte Farbe sich zeigte, das Rosenroth schöner, etwas gesättigter, als es vorher der Fall war; und genau so wie der graue Grund um den schwarzen Kreis heller erschien, so zeigt sich das Roth lebhafter im Gegensatz gegen die Farbe, die gar kein Roth enthält, oder die Ergänzungsfarbe des Roth ist. Mit Gelb und Violett, Orange und Blau würde es sich eben so verhalten, nur muſs man immer bemerken, daſs der Grund, auf welchem die Verstärkung oder der lebhaftere Eindruck der Farbe hervortreten soll, nicht zu dunkel seyn muſs.

34. Diese Beobachtungen sind fast eben so schon von Büffon[1] angestellt, der zugleich noch das glänzende Gold statt gelb gefärbter Körper, das Silber statt des Weiſs empfiehlt, indem diese glänzenden Körper einen noch dauerndern Eindruck hervorbringen.

Büffon erzählt auch noch folgenden Versuch. Wenn man ein rothes Quadrat lange ansieht, so erscheint es bald mit blassem, schönen Grün umgeben; richtet man das Auge länger darauf, so sieht man das Quadrat in der Mitte blasser, an den Seiten tiefer gefärbt. Entfernt man sich nun ein wenig, während man denselben Gegenstand noch immer scharf betrachtet, so sieht man alle vier Seiten des tief rothen Vierecks sich in

---

1 Mém. de l'acad. de sc. à Paris 1743. p. 152. Etwas auf ähnliche Versuche Hindeutendes findet man schon in Physiologia Kircheriana ex vastis Kircheri opp. extraxit Kestlerus. Amst. 1680. Weit wichtiger aber ist Darwins Zoonomie, übersetzt von Brandis 2te Abth. S. 519.

zwei theilen und ein eben so tief rothes Kreuz bilden. Das rothe Viereck erscheint dann wie ein Fenster, das mitten ein starkes Kreuz und weifsliche Scheiben hat. Bei noch längerem angestrengten Hinsehen verwandelt sich das Ganze in ein so tief rothes Rechteck, dafs es die Augen blendet; dieses Rechteck ist eben so hoch als das Quadrat, aber nur ein Sechstel so breit; und dieses ist der letzte Grad der Erscheinung, den das höchst ermüdete Auge noch ertragen kann. Wendet man alsdann das Auge nach einem weifsen Grunde, so sieht man ein eben so geformtes, schön und glänzend grünes Rechteck, welches erst langsam verschwindet.

Die dunkeln, meistens zum Purpur sich hinneigenden Bilder, die man sieht, wenn man die Sonne starr angesehen hat, gehören auch hierher; ihre Farbe erscheint nach Verschiedenheit des Grundes, auf welchem man sie sieht, anders, und zwar, wie BUFFON bemerkt, so wie es die Mischung der natürlichen Farbe des Grundes mit der subjectiven Farbe des Bildes fordert. v. GÖTHE, der sich um die Erörterung der physiologischen Farbenphänomene viele Verdienste erworben hat, erzählt ganz ähnliche Versuche[1].

Auch eine merkwürdige, von BEER angeführte Erfahrung[2] gehört hierher. Wenn operirte Staarkranke, die schon Farben unterscheiden, gelbes auf weifses Papier gelegtes Band ansehen, so sehen sie anfangs das Gelb deutlich; je länger sie es ansehen, desto mehr legt sich die violette Einfassung, die auch wir zu bemerken pflegen, über das gelbe Band, so dafs endlich jenes erst kürzlich operirte Auge nichts mehr vom Gelb gewahr wird. Eben so verwandelt sich Blau in Orange, Hellroth in Grün. TRECHSEL erzählt eine Erfahrung, die ebenfalls zu diesen Erscheinungen gehört[3]. In eine Capelle nahe bei Solothurn sind alle Fenster von gelbem Glase, so dafs im Innern die Erleuchtung aller Gegenstände ein sehr vorherrschendes Gelb hat. Oeffnet man einen der Fensterflügel so, dafs nur ein schmaler

---

1 Farbenlehre. I. 13. 20.

2 Das Auge oder Versuch das edelste Geschenk des Schöpfers zu erhalten u. s. w. von BEER. S. 1—8. Etwas hierher Gehöriges ergeben auch TROXLER's und HIMLY's Versuche in Himly ophthalm. Bibliothek. 1ster Bd. 2tes Stück. S. 11. und 2ter Bd. 2tes Stück S. 40.

3 Biblioth. univers. 1826. Mai.

Spalt die Aussicht auf den Himmel gestattet, so erscheint nicht bloſs der wirklich blaue Himmel sehr schön blau, sondern auch weiſse Wolken zeigen sich im schönsten Blau.

Ganz ähnliche Erscheinungen brachte v. Grotthuss[1] im finstern Zimmer hervor, wenn er die einzige, Licht einlassende Oeffnung mit einem farbigen Zeuge verdeckte. Bedeckt man nämlich diese Oeffnung mit einem durchsichtigen grünen Zeuge, worin eine kleine Oeffnung ist, so erscheint durch diese Oeffnung der Himmel röthlich, das Grün der Bäume unscheinbar und weiſslich; vertauscht man aber die Bedeckung plötzlich mit einer rothen, die eine gleiche Oeffnung hat, so erhalten die Bäume sofort ihr Grün im schönsten Glanze wieder, aber das Roth der Ziegeldächer erscheint jetzt weiſslich. Und etwas Aehnliches erhält man, wenn man ein gefärbtes Glas vor die Augen nimmt und nachdem man die Gegenstände dadurch angesehen hat, sie nun wieder mit freiem Auge betrachtet. War das Glas orangefarben, so erscheint weiſses Papier und der graue Himmel nachher bläulich; war das Glas blau, so erscheinen eben die Gegenstände nachher gelb und glänzend.

35. Alle diese Erscheinungen lassen sich, wie ich glaube, aus einer zu starken Reizung des Auges erklären[2]. Habe ich lange auf Roth gesehen, so ist das Auge für diese Farbe geblendet und dagegen für die übrigen Farbenstrahlen, die zusammen die Ergänzungsfarbe zu jener bilden, empfänglicher. Deshalb empfindet das Auge im Weiſs, welches ihm alle Arten von Licht zusendet, das Grün als vorherrschend, aber doch so mit Weiſs gemischt, daſs dieses sich als ein zwar schönes reines, aber doch nur sehr blasses Grün darstellt. Jenes Quadrat, welches Büffon anhaltend ansah, zeigte sich, wenigstens ehe die Ermüdung des Auges zu groſs war, am Rande tiefer roth, als in der Mitte, weil der Theil der Netzhaut, den die Mitte des Bildes traf, am meisten für das Roth geblendet war, der Theil dagegen, auf welchen das Bild des Randes fiel, durch das abwechselnd mit betrachtete Weiſs, etwas mehr seine Fähigkeit, das Roth vollkommen aufzufassen, wieder gestärkt hatte, aber dennoch, sobald das Bild des Weiſsen eben dahin fiel, in diesem die grünen Strahlen mehr als die rothen empfand. Diese

---

1 Schweigger's Beiträge zur Chemie und Physik. III. 14.

2 Die eine Beobachtung an operirten Staarkranken ausgenommen.

Erklärung, der auch v. GÖTHE nicht ganz abgeneigt scheint[1], ist genau übereinstimmend mit der, welche v. GROTTHUSS annimmt.

36. Auch das doppelte Spiegelbild in gefärbten Gläsern muſs nach ähnlichen Regeln erklärt werden. Nimmt man ein gelbes ins Orange übergehendes Glas und legt es so, daſs man die Sprossen eines Fensters, durch welches der helle Himmel gesehen wird, in jenem Glase abgespiegelt sieht: so sieht man, wie bei allen Spiegeln, ein doppeltes Bild, eines nämlich durch Zurückwerfung von der Vorderfläche, eines durch Zurückwerfung von der Hinterfläche des Glases. Das Bild des Fensterkreuzes, welches die Hinterfläche giebt, erscheint blau, das von der Vorderfläche reflectirte orangefarben, aus folgendem Grunde. Unser Auge erhält wegen dieser doppelten Spiegelung aus jedem Puncte D der obern Seite der Glastafel AB zwei von verschiedenen Gegenständen ausgehende Lichtstrahlen, indem der Punct E durch Spiegelung an der obern Fläche, der Punct F durch Spiegelung an der untern Fläche in C von dem Auge O nach der Richtung OD gesehen wird. Ist nun ED sowohl als FC ein vom hellen Himmel kommender Strahl, so sieht das Auge O diesen hellen Punct blaſs orangefarben, weil bei C gefärbtes, bei D ungefärbtes Licht zurückgeworfen wird, und die Mischung beider ein blasseres Gelb als sonst der Glastafel beim Hindurchsehen eigen ist, giebt; ist dagegen in F ein dunkler Gegenstand, wie das Fensterkreuz, von welchem gar keine oder wenigstens nur matte und unbedeutende helle Lichtstrahlen ausgehen, so empfängt das Auge O bloſs ungefärbte Lichtstrahlen, die aus den eben erklärten Gründen die Empfindung des Blau hervorbringen, so daſs das dunkle Bild des Fensterkreuzes, das von der Hinterseite dargestellt wird, als blau erscheinen muſs. Umgekehrt zeigt sich das Fensterkreuz in der Vorderfläche abgebildet mit der völlig tiefen Orangefarbe, die dem Glase eigen ist, weil hier von C aus das gelb gefärbte Bild des hellen Himmels zum Auge gelangt, welches jetzt nicht wie vorhin durch Beimischung weiſsen Lichtes, ein blasseres Ansehen erhalten kann, weil in D kein Lichtstrahl vom hellen Himmel hingelangt. Ist der dunkle Gegenstand so breit, daſs beide Lichtstrahlen, die wie ED, FC einfallen sollten,

Fig. 22.

---

1 S. 11.

durch ihn aufgehalten werden, so sieht das Auge O in D bloſses Dunkel, oder da fast nie ein Gegenstand ohne alles Licht ist, die matte Erleuchtung die diesem angemessen ist.

Bei jeder andern Farbe würde es sich eben so verhalten. Insbesondere sind schwach grün tingirte Glasstücke sehr geeignet, das doppelte grün und rosenroth gefärbte Bild zu zeigen[1].

Einen ähnlichen Erfolg von der durch zu starkes Licht entstehenden Ueberreizung des Auges sieht man in folgenden Versuchen, die ich nach Thomas Smith's[2] Anleitung angestellt und mehrfach abgeändert habe. Man halte einen schmalen Streifen weiſses Papier 8 bis 12 Zoll vom Auge und blicke, während ein Kerzenlicht sich dem einen Auge sehr nahe, seitwärts stehend, befindet, das andere Auge aber beschattet ist, nach einem weit jenseit des Papiers liegenden Gegenstande; man sieht dann bekanntlich den Papierstreifen doppelt, und bemerkt nun, daſs der weiſse Streifen dem beleuchteten Auge blaugrün, dem beschatteten Auge orangefarben, ja zuweilen ins Röthliche übergehend erscheint. Bringt man zwischen das Licht und das beleuchtete Auge ein gelbes Glas, so ist die Erscheinung ziemlich dieselbe; bringt man zwischen das erleuchtete Auge und das Licht ein blaues Glas, so sind beide gesehene Bilder ziemlich gleich, doch das mit dem beleuchteten Auge gesehene etwas minder gelb als das andere; beschattet man beide Augen, so sind die Bilder ganz gleich. Wird das eine Auge vom nahen Kerzenlichte ohne Schwächung beleuchtet, der Papierstreifen aber erhält das auffallende Licht durch ein orangefarbenes Glas, so sieht das beschattete Auge ein sehr gesättigtes Orange, das beleuchtete Auge ein sehr ins Gelbe übergehendes Grün. Fällt das Licht auf den weiſsen Streifen durch blaues Glas (das von mir gebrauchte gab einen schwachen Uebergang zum Violett,) so zeigt sich dem vom freien Kerzenlichte getroffenen Auge ein nur wenig lebhaftes aber rein grünes Bild, dem andern beschatteten Auge erscheint der weiſse Streifen schön rosenroth. Ein hellblaues Band erscheint dem beleuchteten Auge tiefer blau, dem beschatteten fast ganz weiſs;

---

1 Vergl. Baumgartner die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande u. s. w. Wien 1826. S. 341.

2 Brewster's Edinb. Journ. of Science. No. IX. p. 52.

ein gelbes Band dagegen scheint dem beleuchteten Auge blässer, dem beschatteten dunkler gelb.

Alle diese einzelnen Erscheinungen lassen sich darauf zurückführen, daſs das vom gelben Kerzenlichte geblendete Auge minder empfänglich für die gelben Lichtstrahlen ist, und daſs das beschattete dann durch den Contrast uns das Gelb als vorherrschend zeigt. Aus diesem Grunde erscheint dem beleuchteten Auge ein gelbes Band blasser gelb, ein blaues tiefer blau; und aus demselben Grunde zeigt sich das weiſse, oder eigentlich vermöge des gelben Kerzenlichtes etwas gelbliche Papier, dem beleuchteten Auge grün, dem beschatteten Auge orangefarben oder ins Hellroth übergehend. Könnte man ein ganz weiſs beleuchtetes Papier haben, so müſste wohl jenes blau seyn, im Gegensatze gegen die orangefarbene Beleuchtung des Auges, und dieses orangefarben[1].

37. Diese subjectiven Farben sind es nun auch, die wir in den farbigen Schatten wahrnehmen. Ein Schatten, der so entsteht, daſs die von ihm getroffene Fläche gar kein Licht empfängt, ist allemal ganz dunkel, das einfallende Licht, welchem gegenüber der Schatten entsteht, mag weiſs oder gefärbt seyn; — v. Grotthuss zeigt durch eigends deshalb angestellte Versuche im finstern Zimmer, wo nur durch *eine* Oeffnung Licht einfiel, daſs es so sey. — Aber wenn nicht von einem einzigen Puncte her Licht einfällt, sondern ein in anderer Richtung einfallendes Licht den Raum erhellet, den der Schatten vom ersten Lichte hervorgebracht traf, so kann dieser Schatten farbig erscheinen. Zuerst nämlich ist an sich klar, daſs die Erleuchtung der ganzen von jenen zwei Lichtern beleuchteten Fläche bläulich seyn muſs, wenn das eine Licht blau, das andere weiſs ist; und eben so einleuchtend ist, daſs der Schatten, den das weiſse Licht wirft, oder der dahin fällt, wohin keine Strahlen des weiſsen Lichtes gelangen, sich dunkler blau zeigen muſs, als der übrige Raum, weil dort keine Beimischung weiſser Strahlen ein Hellblau hervorbringt; dieses Blau ist also ein objectiver Erfolg der farbigen Beleuchtung. Aber nun bemerken wir zweitens, daſs der dem blauen Lichte zugehörende Schatten unserm Auge gelb oder orangefarben erscheint, und dieses nur deshalb, weil der gegen das blaue

1 Smith nennt das zweite Bild roth, was mir nicht ganz richtig scheint.

Licht beschattete Raum uns rein weiſse Strahlen zusendet, aber wegen des umgebenden Blau uns mit der Ergänzungsfarbe des Blau erleuchtet erscheint, die also hier als subjective Farbe hervortritt.

Diese Erklärung scheint mir über alle farbige Schatten Auskunft zu geben. Wenn Kerzenlicht und Tageslicht zugleich eine Fläche erleuchten, und auch das Tageslicht bei bedecktem Himmel gar kein vorherrschendes Blau enthält, so zeigt sich doch der dem Kerzenlichte gegenüber entstehende, vom Tageslichte oder Dämmerungslichte erhellete Schatten blau, während der dem Tageslichte gegenüber entstandene vom Kerzenlichte erhellete Schatten gelb oder orangefarben ist; denn die gelbliche Erleuchtung der ganzen übrigen Fläche ruft da, wo unser Auge bloſs weiſses Licht empfängt, wo keine Strahlen des Kerzenlichtes hingelangen, die Ergänzungsfarbe, blau, hervor. Ist der Himmel, dessen Wiederschein das Tageslicht ist, selbst blau, so kann dieser Umstand mitwirken, die blaue Farbe zu verstärken, aber nothwendig ist er nicht.

Selbst das gelbliche Kerzenlicht kann eine ähnliche Erscheinung eines blauen Schattens hervorbringen. Man stelle zwei gewöhnliche brennende Lichter so, daſs ein schmaler Gegenstand einen doppelten Schatten auf eine weiſse Ebene wirft, so erscheinen uns beide Schatten ganz gleich, grau oder matt erleuchtet. Aber nun schiebe man ein orangefarbenes Glas vor das erste Licht, so erscheint der vom zweiten Lichte geworfene, vom ersten erleuchtete, Schatten, orangefarben, der vom ersten Lichte geworfene, vom zweiten erleuchtete, hingegen bläulich. Offenbar erhält der Raum, den das freie Licht bescheint, eine matt gelbliche Erleuchtung, wie das bei unserm Kerzenlichte immer der Fall ist; aber der Raum, den beide Lichter erleuchten, hat so sehr ein vorwaltendes orangefarbenes Licht, daſs das Auge in jenem Weiſs, wenn gleich es auch schon ins Gelbliche übergeht, doch das vergleichungsweise vorherrschende Blau erkennt. Man mag hier sagen, das Auge empfinde in dem, mit nur wenigem Gelb gemischten Weiſs, das Blau durch den Contrast, oder das durch das umgebende orangefarbene Licht für diese Farbe abgestumpfte Auge empfinde in jenem, wenn auch mit etwas Gelb vermischten Weiſs, vorzugsweise das Blau; immer ist der Hauptsache nach der Sinn der Erklärung wohl derselbe.

Rumford hat[1] sich viele Mühe gegeben, eine Ansicht, die mit der eben ausgesprochenen sehr nahe verwandt ist, durch Versuche zu beweisen. Er machte nämlich auf die eben angegebene Weise einen breiten Schatten, der dem bloſsen Auge blau erschien; betrachtete er diesen durch ein so enges Rohr, daſs er nichts von der umgebenden beleuchteten Fläche zugleich mit übersah, so bemerkte er es gar nicht, wenn ein anderer das Licht, welches den Schatten warf, mit einer Platte gelben oder orangefarbenen Glases bedeckte oder diese Platte wieder wegnahm.

Um nicht zu weitläufig zu werden, will ich nur noch zwei Erscheinungen anführen, deren eine wohl nicht ganz mit Recht hierher gerechnet wird. Ich habe schon oben erzählt, daſs Halley in der Taucherglocke das von oben durch das Meerwasser einfallende Tagslicht röthlich sah, während das von unten aus dem Wasser zurückgeworfene Licht die Gegenstände grün zeigte. Dieses war ohne Zweifel Folge der von oben durchgelassenen vorherrschend rothen Strahlen, denen zurückgeworfene grüne Strahlen entsprachen; aber wäre hier von einer Seite weiſses Licht eingefallen, so würde das Auge dennoch in diesem weiſsen Lichte die Ergänzungsfarbe der farbigen Beleuchtung wahrzunehmen geglaubt haben.

Die zweite Erscheinung hat sich mir selbst oft dargeboten. Ich bewohnte ein stark von der Sonne beschienenes Zimmer, das durch grüne sehr dichte Vorhänge gegen die Sonne gesichert war. So lange nun alle Thüren oder sonstige Zugänge für das Licht geschlossen blieben, erschien alles im grünen Lichte und die Schatten dunkel, ohne Farbe. Sobald aber Tagslicht durch die Thür einfiel, nahmen alle Schatten eine schöne rosenrothe, ein wenig ins Violett übergehende, Farbe an. Besonders interessant zeigte sich dieses, wenn man weit entfernt vom Fenster neben eine seitwärts gehende Thüre eine weiſse Tafel aufstellte. So lange die Thür geschlossen blieb, sah man die weiſse, gegen das grün bedeckte Fenster gewandte, Tafel grünlich erleuchtet, aber sobald man die Thür öffnete, erschien sie dem vom Fenster her auf sie sehenden Auge in eben jenem rosenfarbenen, etwas violettlichen Lichte, weil die matte grüne Beleuchtung nun nicht bedeutend genug war, um zu hindern,

---

1 S. Phil. Trans. LXXXIV. 107. Daraus in Grens Neues Journ. der Physik. II. 58.

dafs aus dem Weifs des Tageslichtes die Ergänzungsfarbe hervorgerufen wurde.

38. Diese Erscheinungen sind auf sehr verschiedene Weise erklärt worden; ich führe diese Erklärungen nur kurz an. Dafs die blauen Schatten nicht dem blauen Lichte des Himmels zuzuschreiben sind, wie Bouguer und andere[1] meinten, erhellet aus dem Vorigen. Der Beugung des Lichtes, weil die blauen Strahlen am meisten in den inneren Raum des Schattens hinein gebeugt würden, hat v. Paula Schrank[2] diese blaue Färbung zugeschrieben, aber gewifs unrichtig, da weifses Licht in grüner Beleuchtung eben so gut röthliche Schatten hervorbringt. Zschokke, der eine Reihe interessanter Beobachtungen über diese Schatten angestellt hat[3], scheint sie daraus zu erklären, dafs im farbigen Lichte nur die eine Farbe zurückgehalten werde, der Schatten also kein vollkommener, schwarzer Schatten seyn könne. — Offenbar kann aber in jenen Schatten doch nur dann Licht irgend einer Art kommen, wenn noch von einer zweiten Seite her Erleuchtung statt findet. v. Göthe[4] hat dieses ganz richtig als eine Hauptbedingung erkannt, und diese Schatten als den subjectiven Farben-Erscheinungen angehörend betrachtet.

39. Schwieriger zu erklären sind einige andere Farben-Erscheinungen im Auge, auf welche v. Göthe vorzüglich aufmerksam gemacht hat[5]. Ich habe die Haupt-Erscheinungen oben[6] schon mit v. Göthe's Worten erzählt, und füge hier seine Erklärung hinzu, die sehr viel für sich zu haben scheint[7]. „Das

1 z. B. zuerst Lionardo da Vinci, später auch Monge. S. Gren J. II. 143.

2 Münchner Denksch. 1811 u. 12. S. 293. und 1813. S. 51.

3 Unterhaltungsblätter für Welt- und Menschenkunde. 1826. S. 49. Es finden sich in dieser Abh. auch noch mehr literarische Nachweisungen und auch in Hinsicht darauf verdient diese Abh., so wie die oben erwähnte von Grotthuss nachgesehen zu werden.

4 S. 27.

5 Aepinus hat schon ähnliche Beobachtungen (Comment. Petrop. X. 281.) und noch ältere führt Darwin an, Zoonomie 2te Abth. S. 521. Vergl. Phil. Tr. LXXVI. 313.

6 Oben No. 5.

7 Noch mehrere Beobachtungen hat Purkinje angestellt und beschrieben in seinen Beobachtungen über die Physiologie der Sinne. I. B. S. 97.

Auge des Wachenden äufsert seine Lebendigkeit besonders darin, dafs es in seinen Zuständen abzuwechseln verlangt. Das Auge kann und mag nicht in einem durch das Object specificirten Zustande verharren; es ist vielmehr zu einer Art von Opposition genöthigt, die das Extrem dem Extreme, das Mittlere dem Mittlern entgegensetzt, u. s. w." Wenn das Auge durch weifses Licht geblendet ist, so geht das Organ, indem es sich im Dunkeln erholt, eine Reihe von Zuständen durch, die einem ähnlichen Wechsel wie die Gefühls-Empfindung, z. B. nach dem Erstarren vor Kälte, unterworfen seyn mögen; aber jeder Wechsel, den die Retina unsers Auges erleidet, bringt eine Empfindung von Licht oder Farben hervor, und die Gesetze dieser Wechsel können von uns nur in dem Wechsel der vor unserm Auge schwebenden Farben erkannt werden. Wenn man dieses überlegt, so wird man, glaube ich, einräumen, dafs in jener Lebensthätigkeit des Auges der Grund des Farbenwechsels zu suchen ist, und dafs es sehr der Mühe werth wäre, die Gesetze dieses Farbenwechsels noch weiter aufzusuchen. Bei den vorigen Erscheinungen schien es mir, als ob diese dunklern Gesetze der Lebensthätigkeit, die v. Göthe auch dort berücksichtigt, nicht so nothwendig zur Erklärung wären, und nur die *eine* Erfahrung, dafs dem erst kürzlich operirten Staarkranken die Ergänzungsfarbe des umgebenden Weifs endlich die wirklich vorhandene, vom Weifs umgebene, Farbe überdeckt, scheint nicht ganz so, wie ich dort angab, erklärt werden zu können. Diese Erfahrung nämlich mufs in v. Göthe's Sinne so erklärt werden, dafs die vom Gelb geblendete Retina durch innere Lebensthätigkeit in einen Zustand versetzt wird, der eben den Sinnen-Eindruck, wie die violette Farbe, hervorbringt; wird dieser Zustand bei einem allzureizbaren Auge so überwiegend, dafs der objective Eindruck des gelben Lichtes dagegen nur unbedeutend ist, so glaubt der Beobachter auch an der Stelle nur Violett zu sehen, wo er eigentlich Gelb sehen sollte.

40. Dafs man zuweilen die schwarzen Buchstaben roth zu sehen glaubt, erklärt Darwin[1] daraus, dafs die Netzhaut da, wo die schwarzen Buchstaben abgebildet waren, empfindlicher für das rothe Licht ist, welches durch die Augenlieder dringt.

---

1 Zoonomie. 2te Abth. S. 538. der deutschen Uebers.

Man sieht nämlich dann die Buchstaben roth, wenn man lieset, indem die Sonne auf die etwas zum Blinzeln zusammengedrückten Augenlieder scheint, also durch diese einen röthlichen Schimmer im Auge hervorbringt[1].

41. Von den *pathologischen* Farben glaube ich hier wenig sagen zu dürfen, da sie mehr in den Art. *Gesichtsfehler* gehören. v. Göthe bemerkt, dafs ein Druck auf das Auge nicht blofs die bekannte Licht-Erscheinung, sondern auch eine Farben-Erscheinung hervorbringen könne; ferner dafs Kranke zuweilen alles in einem besondern rothen Lichte sehen u. dgl. Ueber die besondere Beschaffenheit des Auges, wo es Blau und Roth nicht unterscheidet, wird bei den Gesichtsfehlern die Rede seyn. *B.*

Farbenbild. S. Farbe No. 8.

Farbenclavier.

Clavecin oculaire. Die schwerlich je ausführbare, ja der Natur der Sache gar nicht einmal recht entsprechend scheinende Jdee, dafs man durch eine angenehme Folge von Farbenwechseln eine eben solche Einwirkung auf das Gesicht hervorbringen könne, wie die Musik sie dem Gehöre darbietet, hat Veranlassung zu der Ueberlegung gegeben, wie ein Instrument eingerichtet seyn müfste, das diesem Zwecke entspräche. Die Vergleichung, welche Newton zwischen den sieben Farben und den Tönen der Tonleiter, zwischen den Räumen, den jene im Farbenbilde einnehmen, und den Intervallen dieser, zu finden glaubte, veranlafste Castel, der sonst nicht mit Newton in seinen Ansichten übereinstimmte, über ein solches Farbenspiel, das der Harmonie und Melodie in der Musik entsprechen sollte, nachzudenken. Wer sich darüber unterrichten will, mag seine

---

1 Aufser der angegebenen Literatur verdient noch erwähnt zu werden Beguelin über gefärbte Schatten in Mém. de Berl. 1767. p. 27. Scherffer über die accidentellen Farben in J. d. Ph. XVI. 175. und 273. mit vielen Beobachtungen und Hypothesen ohne bestimmte Erklärung. Pietro Petrini's gehaltvolle Abhandlung in Mem. di Mat. e di Fis. della Soc. Ital. XIII. 11. u. a.

Schrift: Clavecin oculaire, und DE MAIRAN's Einwürfe dagegen[1] nachlesen. *B.*

Farben-Dreieck. S. Farbe No. 20.

Farbenkreisel. S. Farbenspindel.

Farbenkugel. S. Farbe No. 20.

Farbenringe.

annuli colorati; anneaux colorés; *coloured Rings.* Farbensäume; *fimbriae coloratae;* bandes colorées; *coloured Fringes.* Die in den Artikeln *Anwandlungen, Farben* No. 22. 23. 26. *Interferenz, Inflexion, Polarisirung des Lichts* vorkommenden Fälle, wo sich Farbenringe und Farbensäume zeigen, will ich hier nicht wiederholen, sondern nur einige, wohl noch nicht ganz erklärte, Phänomene nachtragen, und auch bei diesen nur kurz verweilen.

NEWTON beobachtete, als er das Licht im finstern Zimmer auf einen gläsernen Hohlspiegel, dessen convexe Seite belegt war, fallen liefs, dafs sich auf der weifsen Ebene die im Centrum des an beiden Seiten concentrisch geschliffenen Kugelspiegels senkrecht auf den Lichtstrahl aufgestellt war, aber diesen durch eine im Centro gelassene Oeffnung durchliefs, Farbenringe um diese Oeffnung bildeten. Die Farbenringe zeigten die Farben in der Ordnung, wie die Ringe bei durchgelassenem Lichte zwischen zwei Convexgläsern sich zeigen, nämlich Weifs in der Mitte mit einem dunklern Raume umgeben, an den sich Violett und Indigblau anschlofs; dann folgte Blau, von einem weifslichen Ringe umgeben; dann grünliches Gelb, reines Gelb, Roth, das in Violett überging. Liefs man nur einfarbiges Licht durch die mit dem Centro der Kugel zusammenfallende Oeffnung auffallen, so fanden sich die Halbmesser der nun dargestellten einfarbigen Kreise den Quadratwurzeln von 1, 2, 3, 4 proportional. Ein metallener Hohlspiegel zeigte diese Ringe nicht, und dieses sowohl, als andere Versuche, zeigte, dafs die Dicke des Glases dabei in Betrachtung komme.

NEWTON stellte bei einer andern Reihe von Beobachtungen

---

1 Mém. de l'Ac. de Par. 1737. Vergl. Heydenreich System der Aesthetik. Leipz. 1790. 8. S. 224.

den Spiegel so, dafs der Lichtstrahl nicht zu der Oeffnung selbst reflectirt ward, also die Oeffnung nicht mehr im Centro der Spiegelfläche lag; dann erhielt man auf der weifsen, noch immer durch des Spiegels Centrum gelegten Ebene ein helles reflectirtes Bild; die Ringe aber umgaben wieder das Centrum der Kugel und lagen eben deshalb so, dafs ihr Mittelpunct mitten zwischen der Oeffnung und dem Centrum des durch gewöhnliche Spiegelung dargestellten Bildes lag. NEWTON brachte auch diese Erscheinung unter die Theorie der *Anwandlungen* und BIOT, welcher diese und ähnliche Erscheinungen noch mit mehr Sorgfalt berechnet, ist vollkommen seiner Meinung[1], für welche er in einer genauen Berechnung, die mit den Versuchen übereinstimmt, allerdings wichtige Gründe aufstellt. Von der Richtigkeit der Versuche hat BIOT sich in Verbindung mit POUILLET und DEFLERS überzeugt; er hat auch noch mehrere neue Versuche hinzugefügt, die ich hier übergehe. HERSCHEL glaubt zwar, den ganzen Erfolg dieser Versuche der Beugung des Lichts zuschreiben zu dürfen, weil er auch bei einem metallenen Hohlspiegel eben solche Ringe erhielt, wenn der Raum vor dem Spiegel mit feinem Staube erfüllt wurde, aber diese Erklärung scheint doch nicht ausreichend[2].

2. Eine andere Reihe von Versuchen über Farbenringe ist die von HERSCHEL, welche sich nämlich an die Wiederholung der Versuche NEWTON's über die Farbenringe zwischen convexen Gläsern anschliefst. HERSCHEL[3] stellte mehr als eine Folge von Ringen zugleich dar. Die zweite, schwer sichtbar zu machende, Reihe von Ringen zeigte sich, wenn man auf gut polirtes Spiegelglas eine doppelt convexe Linse von 20 Zoll Brennweite legte. Die zweite Reihe von Ringen hatte einen weifsen Mittelpunct, wenn er bei der ersten schwarz war, und in jedem andern Falle zeigte das Centrum der einen Reihe die Ergänzungsfarbe zum Centrum des andern, und eben dieses galt für die Ringe gleicher Ordnung in den verschiedenen Reihen. Der Gang der Lichtstrahlen, durch welche diese Ringe sichtbar werden, ist folgender: Wenn ein Strahl ab bei b den Berüh- Fig. 23.

1 Newtoni optice Liber 2. Pars 4. und Biot Tr. de Phys. Tome 4. chap. 7.

2 Philos. Transact. for 1807. p. 231.

3 Phil. Tr. 1807. p. 188. 201.

rungspunct der Linse erreicht, so wird er theils zurückgeworfen, theils nach b d durchgelassen; aber auch dieser durchgelassene Theil erleidet in d eine wenigstens theilweise Reflexion nach e, und so erhellet. dafs es eigentlich die Strahlen sind, die nach NEWTON's Ausdruck sich in b in einer Anwandelung leichten Durchganges befanden, die dem Auge in e sichtbar werden. Aber während das Auge so vermittelst des Strahls b c die reflectirte, vermittelst des Strahls d e die durch die dünne Luftschicht bei b durchgegangene Farbe erhält, kann man eine plötzliche Verwechselung beider Farben hervorbringen. Bringt man nämlich auf b einen Schatten, so gelangt nun ein anderer Strahl f g h zum Auge, und da dieser die bei i durch eine schon dicke Luftschicht gehenden, dort also unverändert bleibenden, bei b aber vermöge leichteren Durchganges zum Auge kommenden Strahlen enthält, so sieht das Auge h jetzt an eben dem Orte die Ergänzungsfarben zu denjenigen, die es noch eben vorhin dort sah, und auf ähnliche Weise bringt der Strahl f g b k l offenbar jetzt die in b zurückgeworfenen Strahlen zum Auge. (Fig. 24.)

HERSCHEL giebt Mittel an, um noch mehrere Reihen von Ringen zu sehen, und zeigt, welchen Weg die Strahlen nehmen. Statt der Ringe erscheinen parallele Streifen, wenn man Glascylinder auf eine Ebene legt, dagegen erscheinen elliptische Ringe, wenn man cylindrische Glasflächen mit sphärischen in Berührung bringt[1]. Die Gesetze, nach welchen diese Ringe entstehen, lassen sich nach diesen Andeutungen leicht übersehen; die letzten Gründe aber zu erklären, auf welche HERSCHEL sie zurückführt, mufs ich dem Artikel *Prisma* vorbehalten, wo ohnehin nothwendig von den farbigen Bogen die Rede seyn mufs, an welche, nach HERSCHEL's Ansicht, die ganze Erscheinung sich anschliefst.

3. Verschieden von diesen Reihenfolgen von Ringen, obgleich unter sehr ähnlichen Umständen entstehend, sind die von KNOX beobachteten farbigen Ringe und Streifen[2], von welchen ich nur so viel als nöthig ist, um die Aufmerksamkeit auf sie zu lenken, hier anführen will. KNOX wiederholte HERSCHEL's Versuche und indem er sich eines untern Glases bediente, welches zur Darstellung der zweiten Reihenfolge von Ringen, die

---

1 Phil. Tr. 1809. p. 261.

2 Ebend. 1815. 161.

nämlich durch durchgelassene Strahlen sichtbar werden, nicht geeignet war, erhielt er bloſs mehrere durch reflectirte Strahlen gebildete Ringe, deren Entstehung die Figur deutlich macht, wenn man sich die Strahlen des ersten Ringes durch a b c d, des zweiten Ringes durch a b c e f zum Auge gelangend denkt. Hier lagen also zwei Reihenfolgen von Ringen so neben einander, daſs sie sich, weil ihre Mittelpuncte nicht zusammenfielen, einander schneiden muſsten, und durch diese Durchschnittspuncte liefen parallele Farbenstreifen, welche senkrecht auf die zwischen beiden Mittelpuncten gezogene Linie waren. Diese Mittelpuncte selbst bildeten die Grenzen dieser Farbenstreifen der Breite nach, während ihre Länge nur durch die Ausdehnung der Gläser begrenzt wurde. Die farbigen Streifen waren so geordnet, daſs da, wo zwei gleichfarbige Kreise *derselben* Ordnung sich berührten, der Mittelstreif von eben dieser Farbe sich zeigte, und von da an gerechnet nach beiden Seiten zuerst die mehr brechbaren Farben, daran wieder Roth mit der ganzen Farbenfolge u. s. w. so oft erschien, als es die bis zum andern Centrum reichende Zahl von Ringen forderte.

Fig. 25.

In andern Fällen, wo jene zwei Reihenfolgen von Ringen nicht einander gleich waren, bildeten sich statt der eben beschriebenen geraden Streifen kreisförmige; aber die Erscheinungen sind zu mannigfaltig, um sie hier weiter zu beschreiben.

4. Noch auf eine andere Weise sah Brewster Farbenstreifen entstehen, als er die Zurückwerfung des Lichtes von Parallelgläsern, die wenig gegen einander geneigt waren, beobachtete. Brewster giebt davon folgende Beschreibung [1]. Um die Erscheinung am besten zu beobachten, möge das Licht eines erleuchteten Kreises, der unter 1 bis 2 Grad Sehewinkel erscheint, beinahe senkrecht auf zwei Platten von Gläsern mit parallelen Oberflächen fallen, die 0,1 Zoll von einander entfernt sind. Man lasse eine der Platten einige Neigung gegen die andere annehmen, bis eines oder mehrere der zurückgeworfenen Bilder deutlich sich darstellen, getrennt von dem durch durchgelassenes Licht hervorgebrachten hellen Bilde, welches das hinter den Platten stehende Auge empfängt. Unter diesen Umständen zeigt sich das reflectirte Bild durchkreuzt von 15 oder 16 schönen parallelen Streifen; die drei Centralstreifen sind

1 Phil. Tr. of the Society of Edinburgh. Vol. VII. p. 435.

schwärzlich und weiſslich, die äuſseren sind glänzend grün und roth; die Centralstreifen haben dasselbe Ansehen in Vergleichung gegen die äuſsern, wie die innern Ringe bei dünnen Blättchen gegen die äuſseren. Wenn man die Glasplatten so dreht, daſs ihre Ebene senkrecht gegen den einfallenden Strahl bleibt, so bewegen sich die reflectirten Bilder um das helle Bild, und die Farbenstreifen bleiben immer senkrecht gegen die Linie, welche die Mittelpuncte des hellen und des reflectirten Bildes verbindet. Bei verminderter Neigung wächst die Breite der Farbenstreifen. Fällt das Licht von jenem Gegenstande schief auf die Platten, so sieht man keine Farbenstreifen, wenn die Einfalls-Ebene senkrecht auf die Durchschnittslinie beider Platten ist; ist dagegen die Einfalls-Ebene parallel mit dieser Durchschnittslinie, so zeigen sich die Bilder heller und die Farbenstreifen lebhafter, wenn der Strahl schiefer auffällt.

Brewster beschreibt die Phänomene noch umständlicher, und bemerkt, daſs man die Farbenstreifen an den Bildern bemerkt, die das Auge durch Strahlen sieht, welche zwei Zurückwerfungen erlitten haben. Zugleich rühmt er diese Farben-Erscheinungen als zu den schönsten, die man sehen kann, gehörend, und glaubt, daſs sie sich auf die Theorie der Anwandlungen zurückführen lassen. Er theilt mehrere Gesetze, die sich aus seinen Beobachtungen ergeben, mit, aber läſst die Entwickelung der auf jene Theorie gebauten Erklärung unerörtert.

Alle diese Erscheinungen verdienen noch weiter untersucht zu werden. *B.*

Farbenspindel.

Es ist oben im Artikel *Farbe* No. 20. erwähnt, daſs man vielfach versucht hat, weiſses Licht aus einer Mischung derjenigen Farben darzustellen, in welche jenes durch das Prisma zerlegt zu werden pflegt, und daſs man auf gleiche Weise die sogenannten zusammengesetzten Farben z. B. Grün und Violett, jenes aus Blau und Gelb, dieses aus Roth und Blau, erzeugen kann. Nicht minder ist zugleich nachgewiesen, daſs die Farbenstoffe, wodurch man dieses bewerkstelligt, nicht alles Licht reflectiren, überhaupt aber wegen der Unvollkommenheit ihrer Tingirung das reine prismatische Licht nicht ersetzen können,

weswegen insbesondere das erzeugte Weiſs nie rein, sondern allezeit schmutzig, dunkel und eigentlich grau seyn muſs. Diesemnach werden Mischungen von pulverförmigen Pigmenten nie das Verlangte vollständig leisten, und die Instrumente, womit man solche Versuche meistens anzustellen pflegte, bleiben stets mangelhaft, und sind daher auch für die physikalischen Apparate von einem nur untergeordneten Werthe. Inzwischen mag wegen ihres bisher behaupteten Ansehens hier eine kurze Beschreibung derselben Platz finden.

Man bedient sich zu diesen Versuchen hauptsächlich der *Farbenkreisel* und der *Farbenspindeln*, welche beide ihrem Wesen nach gleichartig, bloſs in der Construction etwas abweichen, übrigens ganz gleiche Versuche gestatten. Beide hat man schon lange gekannt, indeſs kann ich nicht angeben, wer der erste Erfinder derselben gewesen seyn mag, jedoch erzählt Musschenbroek [1], daſs er sie verfertigt und Versuche damit angestellt habe, ohne eine ältere Autorität anzugeben. Vermuthlich sind sie aus diesen von andern Physikern entnommen, und zuletzt am ausführlichsten beschrieben, die Kreisel durch E. G. Fischer [2], die Spindeln durch Lüdicke [3], denen ich im Wesentlichen folge.

Der *Farbenkreisel* ist ein gemeiner Kreisel von der Art, wie ihn die Kinder als Spielwerk gebrauchen. Die runde Scheibe AB, aus hartem Holze gedrehet, ist auf die gleichfalls aus hartem Holze (am besten Buxbaum) verfertigte Spindel CD gesteckt, welche letztere bei EF einen unten flachen Wulst hat, um die mit den erforderlichen Pigmenten übergezogenen Papierscheiben darunter zu befestigen. Wie diese Scheiben aus feinem, weiſsen und glattem, aber zugleich die Farben gut aufsaugendem Papiere gemacht seyn müssen, ergiebt sich zwar von selbst, indeſs versinnlicht die Zeichnung, daſs sie, in der Mitte mit einem Loche zum Durchstecken der Spindel versehen, entweder bloſs auf dem äuſseren Ringe oder auf den ganzen Sectoren diejenigen Farben haben müssen, womit man die Versuche anstellen will. Man kann ferner die einzelnen Sectoren auf die erforderliche Weise mit den gehörigen Pigmenten

Fig. 26.

Fig. 27.

1 Introd. §. MDCCCXX.

2 Lehrbuch der mech. Naturlehre. Berlin 1827. II. 267.

3 G. V. 272. u. XXXIV. 4.

überziehen, und deren so viele, als zur Erzeugung der gewünschten zusammengesetzten Farben erforderlich sind, neben einander legen, durch den Wulst der Spindel an die Scheibe festdrücken, und den Kreisel durch Drehung des Stieles in schnelle Rotation bringen.

Weil die Drehung der Kreisel aus freier Hand minder sicher ist, und die Rotation kürzere Zeit dauert, so sind in dieser Hinsicht die nach Lüdicke's Angabe constrituirten Spindeln vorzuziehen. Aeltere Apparate dieser Art gleichen den Schwungtischen oder Centralmaschinen, und bestehen aus einer horizontal liegenden Scheibe, mit einer in einer Rinne derselben befindlichen Schnur ohne Ende, welche um eine andere, gleichfalls horizontale, Rolle geschlungen diese in eine schnelle Rotation versetzt, wenn die erste Scheibe vermittelst eines Würtels oder eines Knopfes gedrehet wird. Ueber jener Rolle befindet sich eine mit ihr parallele Scheibe, und auf dieser liegen die gefärbten Scheiben in ihrer Mitte durch eine Schraube festgehalten.

Die nach Lüdicke's Angabe von mir etwas abgeänderte Farbenspindel besteht aus einem unten mit Tuch überzogenen Fufsklotze a b von etwa 4 Par. Z. Durchmesser, und hieraus lassen sich die andern Dimensionen leicht entnehmen. Auf diesem Fufse sind die beiden messingnen Bügel c und d vermittelst Schrauben befestigt, welche oben einen messingnen, mit einer Mutterschraube versehenen, Ring e f tragen, worin das Ocular-Rohr h o h von einer für die Gesichtsweite gehörigen Höhe geschraubt ist. Letzteres besteht aus einem blofsen, inwendig geschwärzten Rohre, welches unten der Schraube wegen mit einer messingnen Fassung versehen ist, und auch oben bei o gleichfalls eine solche haben kann. Die untere Schraube dient dazu, die Glasscheibe *a a* auf dem unter ihr liegenden horizontalen Ringe festzuhalten. Diese plane, möglichst weifse und durchsichtige Glasscheibe ist ganz mit schwarzer Tusche dick überzogen, und hat blofs einen durchsichtigen Ring, welchen man am besten erhält, wenn man sie mit stark geschwärztem Papiere überklebt, und blofs den durchsichtigen Ring von 1,5 bis 2 oder 2,5 Lin. Breite unbedeckt läfst. Auf diesem Papiere läfst sich dann leicht mit etwas Kitt vermittelst dünnen Leders und venetianischen Terpentins das aus der Zeichnung kenntliche eiserne Scheibchen mit einer kleinen Vertiefung befestigen,

Fig. 28.

in welcher das obere Erde der stählernen Spindel $\varepsilon\varepsilon'$ mit der messingnen Scheibe $\gamma\gamma$ läuft. Das untere Ende ε' dieser Spindel ist etwas dicker, läuft in einer Vertiefung der metallenen Schraube g, welche von unten mit einem Schlüssel höher geschroben werden kann, um einen schlotternden Gang zu vermeiden, ohne zu stark gegen die Glasscheibe $\alpha\alpha$ geprefst zu werden und diese zu zersprengen. Endlich trägt die Scheibe $\gamma\gamma$ die mit den gehörigen Pigmenten gefärbten Scheiben von Papier, welche durch einen genau schliefsenden Ring $\delta\delta$ festgehalten werden; der untere Theil der Spindel ε' aber ist mit einem kleinen Stiftchen versehen, an welchem eine feine seidene Schnur festgehakt und mehrmals um die Spindel geschlungen wird, so dafs diese nebst ihrer Scheibe durch ein etwas starkes Anziehen der Schnur in eine unglaublich schnelle und, wegen des gröfseren Gewichtes der Scheibe, lange anhaltende Drehung versetzt wird, während deren Dauer das Auge bei o die aus der Verbindung der verschiedenen Farben neu entstehende beobachten kann.

Welche Versuche mit diesen beschriebenen Apparaten angestellt werden können, würde überflüssig seyn hier ausführlich zu erzählen, indem es aus demjenigen von selbst folgt, was oben über die Farben gesagt ist. Im Allgemeinen will ich daher nur bemerken, dafs die eigentliche optische Farbentheorie durch dieselben weder begründet noch erweitert werden kann, weil es kein Pigment giebt, welches die reinen prismatischen Farben, wie man sie genau genommen nur vermittelst eines *Fraunhoferschen Prisma's* von Flintglas erhält, darzustellen vermöchte, abgerechnet dafs das Auge oft nur durch den Gegensatz mit andern Farben über die eigentliche Beschaffenheit einer Farbe genau zu urtheilen im Stande ist, und in diesem Urtheile nicht selten durch gröfsere oder geringere Intensität des farbigen Lichtes getäuscht wird. Wenn also E. G. Fischer[1] glaubt, dafs durch diese Versuche die Lehre von den drei Grundfarben Gelb, Roth, Blau und von den drei gemischten, Grün, Orange, Violett bewiesen werde, weil diese drei in gleichen Sectoren auf der Farbenspindel Weifs geben, so wird dieses schon dadurch widerlegt, dafs eine physikalische Wahrheit nur durch genaue Versuche, keineswegs aber durch

---

1 S. a. a. O.

mangelhafte bewiesen werden kann. Durch die Vereinigung aller sieben Farben, eben wie durch Vereinigung von je drei der eben genannten, desgleichen von je zwei complementären, wenn man sie auf die Sectoren der Farbenspindel aufträgt und durch schnelle Drehung der letzteren ihren Lichteindruck auf das beobachtende Auge vermischt, kann zwar wohl ein dem weifsen Lichte ähnlicher Eindruck hervorgebracht werden, allein die Farbe wird allezeit unrein, schmutzig und grau seyn, so dafs sich kein bestimmtes Urtheil auf solche Versuche bauen läfst. Eben so geben Blau und Gelb zwar ein Grün, Roth und Blau ein Violett, allein beide auf diese Weise erhaltene Farben sind von denen des reinen prismatischen Lichtes ausnehmend verschieden. Die Appatate können also nur zur Belustigung und Erläuterung der Farbenlehre gebraucht werden, mit gröfserem Nutzen aber von dem Farbenkünstler, um zu untersuchen, welchen Eindruck der Anblick von zwei sich vermischenden Pigmenten auf das Auge macht.

Die Wahl der Farben, welche man aufträgt, desgleichen die Helligkeit oder Tiefe, worin sie aufgetragen werden, ist für das bessere Gelingen der Versuche von grofser Wichtigkeit, und geschieht am besten von einem geübten und der Sache kundigen Maler. Lüdicke schlägt für weifses Licht folgende zwölf Farben vor, mit der zugleich in Graden angegebenen Gröfse der einzelnen gefärbten Sectoren.

a. Röthlich Violett, 40,5 Grade, aus rothem Carmin mit etwas blauem.

b. Violett, 38 Grade, aus blauem Carmin mit etwas rothem.

c. Indigo, 36 Grade, aus blauem Carmin mit etwas wenigem rothen.

d. Blau, 34 Grade, aus blauem Carmin.

e. Hellblau, 32 Grade, aus blauem Carmin mit etwas Grün, dünner aufgetragen.

f. Bläulich-Grün, 30,3 Grade, aus krystallisirtem Grünspan in Essig aufgelöset, mit etwas Weinstein.

g. Gelblich-Grün, 28,6 Grade, aus der nämlichen Auflösung mit etwas Gummigutte versetzt.

h. Strohgelb, 27 Grade, aus Gummigutte mit ein wenig Grün.

i. Gelb, 25,5 Grade, aus Gummigutte und sehr wenig rothem Carmin, um dem Gummigutte den grünlichen Schimmer zu nehmen.

k. Orange, 24 Grade, aus Gummigutte mit etwas rothem Carmin.

l. Hochroth, 22,7 Grade, aus rothem Carmin mit etwas Gummigutte.

m. Dunkelroth, 21,4 Grade, aus rothem Carmin.

Eine Wiederholung der Versuche mit den angegebenen Farben hat meine Erwartungen indeſs nicht befriedigt. *M.*

Farbenzerstreuung. S. Zerstreuung der Farbenstrahlen, und Anwendungen dieser Lehre im Art. Fernrohr, achromatisches, Linsengläser, achromatische, Prisma, achromatisches.

Fernrohr.

Seherohr, Teleskop, Fernglas; *tubus opticus, telescopium, conspicillum, conspicillum tubulatum;* lunette, lunette d'approche; *the telescope.*

1. Unter diesem Namen versteht man eigentlich alle Instrumente, welche entfernte Gegenstände vergröſsert, so, als ob sie näher gerückt wären, zeigen; da aber von den Fernröhren, die mit Hülfe eines Hohlspiegels diese Vergröſserung bewirken, im Art. *Spiegelteleskop* die Rede seyn wird, so handle ich hier nur die Theorie der dioptrischen Fernröhre oder Refractoren (*tubes dioptricus; lunette dioptrique; refracting telescope*) ab.

2. Die Geschichte der ersten Entdeckung der Fernröhre ist ungewiſs. Man hat sich sehr bemüht, den ersten Entdecker kennen zu lernen; aber da in neuern Zeiten nichts Erhebliches zu Aufhellung dieser Ungewiſsheit geschehen ist, so begnüge ich mich, nach Priestley[1], Gehler[2], und andern zuverlässigen Schriftstellern das, was man hierüber weiſs, mitzutheilen.

Was Mabillon[3] von einem Manuscripte aus dem drei-

1 Geschichte der Optik, übers. v. Klügel. S. 49.

2 In der ältern Ausgabe dieses Wörterbuchs.

3 Iter germanicum, welches den 4ten Band der Veterum analecto-

zehnten Jahrhundert erzählt, wobei sich ein Bild des Ptolemaeus, wie er die Gestirne durch ein aus mehreren in einander geschobenen Theilen bestehendes Rohr betrachtet, befindet, ist zu unbestimmt, um irgend einen Werth darauf zu legen, da dieses Bild vielleicht ein Rohr ohne Gläser vorstellte. Merkwürdiger ist, was Roger Baco, der um das Ende des dreizehnten Jahrhunderts lebte[1], sagt: Man könne durchsichtige Körper (perspicua) so bilden und ordnen, daſs man die Gegenstände unter irgend einem Sehewinkel sähe, daſs man aus der gröſsten Ferne die kleinsten Buchstaben erkennen könne. — Gehler bemerkt indeſs hierbei, daſs hier nicht von wirklich ausgeführten Instrumenten die Rede sey, sondern daſs sich neben diesem hingeworfenen Gedanken über einen in späterer Zeit ausgeführten Gegenstand, auch andere eben so hingeworfene Gedanken, in eben der Redeform: man kann, possumus,— finden, die ganz unausführbar sind. — Anderswo[2] sagt eben der Baco, Caesar habe die brittischen Häfen tubi ope betrachtet; aber daſs man zu jener Zeit (im dreizehnten Jahrh.) Fernröhre mit Gläsern gehabt habe, ist dennoch höchst zweifelhaft, da ein so merkwürdiger Gegenstand doch wohl irgendwo vollständiger erwähnt wäre.

Auch in Porta's Schriften[3] kömmt etwas vor, das auf Fernröhre hindeutet. Er sagt nämlich, durch ein Hohlglas sieht man entfernte Gegenstände deutlich, durch ein erhabenes Glas nahe Gegenstände; weiſs man beide gehörig zu verbinden, so wird man sowohl nahe als entfernte Gegenstände gröſser und

---

rum [Paris 1685. 4.] ausmacht, p. 46. Dieses iter germ. besonders abgedruckt Hamburgi 1717. enthält die Abbildung dieses Rohrs, und die Stelle ist dort p. 54.

1 Rog. Baconis opus majus. Vgl. Montucla hist. der math. I. 514.

2 In einem von Wood Hist. et Antiquit. univ. Oxoniens. L. 1. p. 136. angeführten Manuscr.

3 Magia naturalis, s. de miraculis rer. nat. Neap. 1558. Lib. XVII. cap. 10. [Da mein Bemühen, diese Stelle aufzufinden, vergeblich gewesen ist, so bemerke ich, daſs nach v. Zach Corresp. astronomique II. 552. die erste Ausgabe von 1558 nur 3 Bücher enthält, die zweite von 1589 hingegen 20 Bücher. In der letztern müſste man also nachschlagen; aber diese habe ich nicht erhalten können, und die Uebersetzung Magdeburg 1617. enthält nur 4 Bücher. Uebrigens gehört das Buch zu den unsinnigsten und albernsten, die man sehen kann

deutlich sehen. Er fügt hinzu, er habe damit Freunden, die schlechte Augen hatten, grofse Dienste geleistet, indem er sie in Stand setzte, deutlich zu sehen. — Was er hier eigentlich meint, ist undeutlich; aber GEHLER bemerkt, dafs ein Schriftsteller wie Porta, dem es an Ehrgeiz nicht fehlte, eine so wichtige Entdeckung, wie die des Fernrohrs gewesen wäre, wohl umständlicher und wortreicher würde beschrieben haben. Bekannt ist überdas gar nicht, dafs er irgend etwas beobachtet habe, was auf den Gebrauch von Fernröhren schliefsen liefse.

HIERONYMUS SIRTURUS, ein Mailänder, welcher um etwas Vollständiges über das Fernrohr zu schreiben, mehrere Länder bereisete[1], erzählt, 1609 sey ein Unbekannter, dem Ansehen nach ein Holländer, zu dem Brillenmacher JOH. LIPPERSEIN oder LIPPERSHEIM in Middelburg gekommen und habe sich einige erhabene und hohle Gläser schleifen lassen, und als er diese in Empfang genommen, habe er ein erhabenes und ein hohles bald näher, bald weiter von einander gehalten. Dieses habe sich LIPPERSHEIM gemerkt, habe aus einer solchen Verbindung zweier Gläser ein Fernrohr gemacht, und es dem Prinzen MORITZ v. NASSAU gezeigt, eben dieser Schriftsteller versichert, in Spanien einen Baumeister ROGETUS angetroffen zu haben, der die Kunst, Fernröhre zu machen, schon lange getrieben und ein Buch darüber geschrieben habe.

DESCARTES, der später über diese Erfindung redet[2], schreibt die Entdeckung dem Zufall zu. Ein gewisser METIUS, ein Sohn des als Mathematiker berühmten ADRIAN METIUS, habe Vergnügen an Verfertigung von Spiegeln und Brenngläsern gefunden, und versucht, durch ein hohles und ein erhabenes Glas zugleich zu sehen; er habe diese in einer Röhre so angebracht, dafs daraus das erste Fernrohr entstanden sey.

PETER BORELLUS[3] schreibt diese Entdeckung mit vieler Wahrscheinlichkeit dem Brillenmacher ZACHARIAS JANSEN in MIDDELBURG zu. Er theilt gerichtliche Aussagen mit, nach

---

1 Telescopium. (Francof. 1618.) p. 24.

2 In der Dioptrica, welche 1637 erschien, sagte er, vor etwa 30 Jahren sey durch Zufall das Fernrohr entdeckt. Cap. 1.

3 De vero telescopii inventore. Hagae Com. 1655. vorzüglich Cap. 12. u. 14. Vergl. J. d. Ph. XCIII. 150.

welchen der Sohn dieses Jansen bezeugt, sein Vater habe schon 1590 Fernröhre verfertigt, und eines dem Prinzen Moritz überreicht, das andere dem Erzherzoge Albrecht. Drei andere Einwohner von Middelburg geben an, der eine, dafs schon vor 1600, der andere, dafs vor 1605, der dritte vor 1610 in Middelburg Fernröhre von einem Brillenmacher Hans Laprey verfertigt wären. Diese Zeugnisse begleitet Borellus mit einem Briefe des Holländischen Gesandten Wilh. Boreel, der den Zach. Jansen und dessen Vater gekannt zu haben versichert. Er versichert, diese Künstler hätten dem Erzherzoge Albrecht ein zusammengesetztes Mikroskop überreicht, und 1610 das Fernrohr erfunden; ein Fernrohr sey dem Prinzen Moritz übergeben, und dieser habe ein im Kriege so nützliches Instrument nicht wollen bekannt werden lassen. Dennoch sey die Sache bekannt geworden und ein Unbekannter sey, aus Irrthum zu dem Joh. Laprey (der hiernach mit dem Lippersheim einerlei zu seyn schiene,) gekommen, um sich eines machen zu lassen; dieser habe aus dem, was der Unbekannte ihm sagte, die Einrichtung errathen, die Fernröhre nachgemacht und öffentlich verkauft. Adrian Metius und Drebbel hätten von Jansen Fernröhre gekauft. Er bemerkt endlich auch noch, es sey nicht Zufall, sondern geschickte Zusammenordnung gewesen. Diese Erzählung hat viel Wahrscheinliches und auch Huygens [1] versichert zu wissen, dafs schon vor Metius um 1609 ein Künstler in Middelburg Fernröhre gemacht habe.

Weidler beweist, dafs schon 1608 Fernröhre aus Holland gekommen sind [2]. Simon Marius nämlich erhielt von einem Herrn Joh. Phil. Fuchs von Bimbach die Nachricht, dafs er ein solches, von einem Holländer zu sehr hohem Preise ausgebotenes Instrument auf der Herbstmesse 1608 zu Frankfurt am Mayn gesehen habe. Simon Marius probirte nun sogleich selbst ein Fernrohr zu machen, was aber, da die Nürnberger Künstler keine Gläser von hinreichender Brennweite liefern konnten, nicht gelang. Dennoch war Marius schon im November 1609 so glücklich, durch ein aus Holland erhaltenes Fernrohr die Jupiterstrabanten zu entdecken [3].

---

1 Opusc. posth. Lugd. Bat. 1703. p. 136.

2 Historia astronomia Cap. 15. §. 12.

3 Als bemerkenswerth führt v. Zach an, dafs man schon 1609

Galilaei erhielt im April oder Mai 1609 in Venedig Nachricht von einem solchen in Holland verfertigten Instrumente, welches entfernte Gegenstände so zeige, als ob sie nahe wären. Er reisete sogleich nach Padua zurück, und errieth schon in der folgenden Nacht die Einrichtung; er machte sich aus einem Planconvex - und einem Planconcav - Glase ein Fernrohr, und da dieses den erwarteten Erfolg zeigte, so machte er sogleich noch ein besseres, das achtmal vergröſserte. Dieses zeigte er gleich nachher in Venedig den dortigen gelehrten und angesehenen Männern, und machte nun bald mit Hülfe desselben die Entdeckungen am Himmel, die hier nicht weiter hergehören[1].

Daſs ein Neapolitaner Fontana schon vor 1608 die Fernröhre gekannt zu haben behauptet, muſs wenigstens der Vollständigkeit wegen erwähnt werden[2].

3. Die weiteren Verbesserungen der Fernröhre will ich nur kurz erzählen. Kepler gab zuerst eine theoretische Entwickelung der Gründe, warum das Fernrohr diese Wirkung zeige, und erfand das *astronomische Fernrohr* aus zwei Convexgläsern[3], dessen sich Scheiner zuerst wirklich bedient zu haben scheint[4].

Schon Kepler hatte bemerkt, daſs man das umgekehrt erscheinende Bild im astronomischen Fernrohre durch ein zweites Augenglas wieder aufrecht darstellen könne; aber diese minder angemessene Einrichtung ist nicht benutzt, sondern die des Ant. Mar. de Rheita[5] fand mit Recht mehr Beifall und gab das noch jetzt gebräuchliche Erdfernrohr. Man brachte auch noch mehr als drei Augengläser an, und erreichte dadurch einzelne Vortheile; unter andern waren Dollonds Fernröhre mit sechs Gläsern vor der Erfindung der achromatischen Fernröhre sehr beliebt[6].

---

die Fernröhre in London so zahlreich hatte, daſs von einer Auswahl die Rede seyn konnte. de Zach Correspondance astronomique. VII. 122.

1 Nuntius sidereus. Florent. 1610. p. 4—11.

2 Novae terrestrium et coelestium observationes. Neap. 1646.

3 Dioptrica. Aug. Vindel. 1611.

4 Rosa ursina. Bracciani 1630. p. 130.

5 Oculus Enochi et Eliae. Antv. 1665.

6 Phil. Tr. Vol. 48. p. 103.

Das Hauptbestreben der Optiker ging nun darauf hin, durch Verlängerung der Fernröhre eine sehr starke Vergröfserung bei hinreichendem Lichte und hinreichender Deutlichkeit zu erhalten. Eustachius de Divinis in Rom, Campani in Bologna, Huygens und Auzout brachten Gläser von ungemein grofsen Brennweiten zu Stande, zum Beispiel die von Cassini benutzten, deren Brennweiten 100 und 136 Fufs waren, und durch welche dieser die kleinern Saturnsmonde entdeckte, ferner das von 123 Fufs Brennweite, durch welches Pound und Bradley beobachteten; ja Auzout hat ein Glas von 600 Fufs Brennweite verfertigt, das aber aus Mangel bequemer Aufstellung nicht gebraucht werden konnte[1].

Die grofse Schwierigkeit, diese Gläser zum Gebrauche in hinreichend lange Röhren zu fassen, worüber man sich bei Hevel. und Bianchini[2] belehren kann, gab Veranlassung zu Ferngläsern ohne Röhren oder *Luftferngläsern* (telescope aërien). Huygens gab nämlich Mittel an[3] ohne so lange Röhren, sich der Gläser von so grofser Brennweite zu bedienen, die ungefähr in Folgendem bestehen. Er befestigte das Glas, welches als Objectivglas dienen sollte, in einem kurzen Rohre, das vermittelst einer Nufs nach allen Seiten beweglich war. Dieses Rohr wurde an einer sehr hohen Stange, an dem Giebel eines Hauses oder einem andern hohen Gegenstande befestigt, und der untenstehende Beobachter konnte ihm vermittelst einer Schnur alle erforderliche Richtungen geben; das Augenglas konnte, unten angebracht, eben so in die erforderlichen Stellungen und Richtungen gebracht werden, und so konnten Gläser von ganz ungemein grofsen Brennweiten, wenigstens bei Nacht, wo das Auge durch fremde Lichtstrahlen, welche sonst durch das Rohr abgehalten werden, nicht gehindert wird, ge-

1 Hartsoeker giebt eine Methode an, solche Gläser zu verfertigen. Essai de Dioptrique. Paris 1694. und auch Huygens gab Anleitung hierzu: Comm. de vitris figurandis in s. Opp. posth. Lugd. Bat. 1703.

2 Hevelii mach. coelestis Tom. II. Bianchini de Hesperi et Phosphori novis phaenom. Romae 1728.

3 Astroscopia compendiaria, tubi optici molimine liberata. Hagae 1684. und Smith Lehrbegriff der Optik, übersetzt von Kästner. Altenburg 1755. S. 329. Taf. XIX. auch Priestley Geschichte der Optik. S. 159 und Montucla II. 509.

braucht werden. Pound und Bradley bedienten sich wirklich einer solchen unter Huygens eigner Aufsicht ausgeführten Vorrichtung und Pound sah durch das so angeordnete Fernrohr die Saturnsmonde[1].

Unterdefs beschäftigten sich Cartesius und Huygens mit Vervollkommung der Theorie. Cartesius[2] suchte Mittel, um durch hyperbolische und elliptische Gestalt der Oberflächen der Gläser diejenigen Fehler zu vermeiden, welche als Abweichung wegen der Kugelgestalt bei den Linsengläsern statt finden.

Huygens[3] dagegen vervollkommnete durch Untersuchungen, welche die Anordnung der Gläser betrafen, die Theorie des Fernrohrs. Aber kurz nachher zeigten Newton, dafs der gröfsere Nachtheil in Hinsicht auf die Deutlichkeit der Bilder in der Farbenzerstreuung liege, und dafs diesem durch veränderte Form der Gläser nicht abzuhelfen sey. Newton empfahl daher die Spiegelteleskope, weil er eine Verbesserung der dioptrischen Fernröhre in Hinsicht auf die Farbenzerstreuung für unmöglich hielt[4].

In der folgenden Zeit machte die Kunst, Fernröhre zu verfertigen, keine Fortschritte, bis Euler 1747 die Behauptung aufstellte[5], eine aus mehrern Gläsern zusammengesetzte Linse könne wohl die Farbenzerstreuung aufheben. Diese Behauptung schien indefs den Optikern blofs hypothetisch, Dollond sowohl als Clairaut erklärten sich, auf Newton's Versuche gestützt, gegen sie; bis 1754 endlich Klingenstierna's Untersuchung in Newton's Schlüssen über die bei allen Körpern nach einerlei Gesetzen erfolgende Farbenzerstreuung Unrichtigkeiten aufdeckte[6]. Dieses veranlafste John Dollond, einen Versuch

---

1 Aehnliche Vorschläge von Bianchini, und de la Hire erwähnt Smith. S. 335.

2 Dioptrice Cap. 8. 9.

3 Opusc. posth. Lugd. Bat. 1703.

4 Optice Lib. I. Pars I. Propos. 7.

5 Mém. de l'ac. de Berlin. pour 1747. Euler gründete zuerst seine Behauptung auf die Brechung im Auge, indem er glaubte, im Auge werde die Farbenzerstreuung ganz aufgehoben. Obgleich nun dieses, wie unter andern Fraunhofer (G. LVI. 304.) zeigt, nicht streng richtig ist, so hat dennoch Euler sich hierdurch auf den rechten Weg leiten lassen.

6 Schwed. Abh. XVI. 300.

mit einem Wasserprisma und einem Glasprisma anzustellen, wo er den ausfahrenden Strahl, obgleich er mit dem einfallenden parallel war, dennoch farbig fand, und dies bewog ihn nun, Prismen aus verschiedenen Glasarten so zusammen zu ordnen, dafs sie keine Farbenzerstreuung bewirkten, obgleich sie eine Brechung des Lichtes hervorbrachten, und endlich brachte er achromatische Linsen zu Stande[1]. Clairaut und d'Alembert[2] und Klingenstierna[3] suchten die Theorie zu vervollkommen, konnten aber doch keine den Künstlern nützliche Anleitung geben, sondern die achromatischen Fernröhre der Engländer behielten ihren Vorzug.

Euler konnte sich jetzt von der Richtigkeit der Dollond'schen Versuche nicht überzeugen, da seine Theorie der Farbenzerstreuung etwas anderes zu ergeben schien, und erst als Clairaut ihn überzeugte, nicht Zufall, nicht glücklich ausgefallene Gestalt der Gläser, sondern eine den Versuchen gemäfs angeordnete Form sey der Grund der Vorzüglichkeit der Dollond'schen Telescope, so gab er seine Theorie auf, und fing nun an, die Dollond'sche Erfindung durch eigene Untersuchungen aufzuklären[4]; und hieran schlossen sich die Bemühungen von Fuss[5] und Klügel[6]. Diese theoretischen Untersuchungen konnten indefs nicht bewirken, dafs die Fernröhre einen noch gröfsern Grad von Vollkommenheit erreichten, vielmehr wurden nach Peter Dollond, der seinen Vater John Dollond noch übertraf, selbst in England die achromatischen Fernröhre schlechter, weil das dazu erforderliche Flintglas in schlechterer Qualität verfertigt wurde.

Erst durch Fraunhofer, der eine Methode, die Glasarten vollkommen rein darzustellen, erfand, und durch Theorie und mechanisches Talent geleitet, es möglich machte, dioptrische Fernröhre von viel gröfserer Oeffnung der Objectivlinse zu ver-

---

1 Phil. Tr. L. 733.

2 Mém. de l'ac. de Paris 1756. 1757. 1764. 1765. 1767.

3 Tentamen de corrigendis aberrationibus luminis in lentibus refracti etc. Petrop. 1762.

4 Vorzüglich in L. Euleri Dioptrica. Petrop. et Lips. 1771.

5 Fufs Anweisung Fernröhre von grofser Vollkommenheit zu verfertigen. Leipz. 1778.

6 Klügels analyt. Dioptrik. Leipz. 1778.

fertigen, ist aufs Neue gezeigt, dafs die Kunst, dioptrische Fernröhre zu verfertigen, noch nicht ihren höchsten Gipfel erreicht hat, und dafs wir, wenn ein gleich talentvoller Künstler seine durch einen zu frühen Tod unterbrochenen Bemühungen weiter fortsetzt, noch stärkere Fernröhre erhalten können, als wir durch ihn besitzen, wenn gleich diese alles bis dahin geleistete weit übertreffen[1].

Allgemeine Bemerkungen über die Einrichtung des Fernrohrs.

4. Wenn die von einem entfernten Gegenstande ausgehenden Strahlen ein convexes Glas treffen, so werden sie so gebrochen, dafs die von einerlei Puncte ausgehenden Strahlen sich wieder in einen Punct vereinigen, und da dieses für jeden Punct gilt, so stellt sich dort, wo jene Vereinigungspuncte liegen, ein Bild des Gegenstandes dar. Dieses Bild betrachtet man durch ein zweites Glas oder durch eine passende Verbindung mehrerer Gläser, die so angeordnet sind, dafs der Gegenstand unter einem gröfsern Sehewinkel erscheint, als er sich dem blofsen Auge zeigt. Eine solche Verbindung von Gläsern ist das Fernrohr, dessen Einrichtung im Einzelnen allerdings sehr verschieden seyn kann.

Jenes Glas, welches die Lichtstrahlen von dem Gegenstande empfängt, heifst das **Objectivglas** (*vitrum objectivum; s. lens objectiva;* lentille objective; *objectglafs*); das Glas, durch welches das Auge das entstandene Bild besieht, heifst das Augenglas **Ocularglas** (*vitrum oculare s. lens ocularis;* lentille oculaire; *eye-glafs*) und zwar ein *einfaches* Ocular, wenn es nur aus einem Glase besteht, ein *zusammengesetztes*, wenn mehrere Gläser in der Ocularröhre verbunden sind.

Bei jedem Fernrohr kommt die Frage vor, wie stark die **Vergröfserung** (*amplificatio;* le grossissement; *the magnifying power*) sey, oder in welchem Verhältnisse der Sehewinkel mit Hülfe des Fernrohrs zu dem Sehewinkel des mit blofsen Augen gesehenen Gegenstandes stehe; wie grofs

---

1 Struve Beschreibung eines grofsen Refractors von Fraunhofer Dorpat. 1825. und Schumach. astr. Nachr. IV. 17.

das **Gesichtsfeld** (*campus*; le champ; *the field*) oder der Raum ist, den man durch das Fernrohr übersieht; ferner welche *Lichtstärke* das Fernrohr gewährt, oder mit welchem Glanze der Gegenstand im Fernrohr erscheint; endlich welchen Grad der *Deutlichkeit* das Bild des Gegenstandes im Fernrohre besitzt.

Um die *Vergröſserung*, welche durch ein Fernrohr hervorgebracht wird, durch eine Beobachtung kennen zu lernen, dient bei mäſsigen Vergröſserungen recht gut eine Beobachtung mit beiden Augen, indem das eine Auge den Gegenstand durch das Fernrohr besieht, während das andere frei auf eben denselben gerichtet ist. Wenn beide Augen gleich gut sehen, so erblickt man dann den vergröſsert gesehenen Gegenstand vor dem schwebend, der in seiner natürlichen Gröſse erscheint, und wenn der Gegenstand ein solcher ist, der gleiche Abtheilungen darbietet, wozu man gewöhnlich die Dachziegel eines Hauses zu empfehlen pflegt, so läſst sich wahrnehmen, wie viele gleiche Abtheilungen des unvergröſsert gesehenen Gegenstandes von einer Abtheilung des vergröſsert gesehenen verdeckt werden; diese Vergleichung giebt sogleich die Vergröſserung genau genug für Zwecke, die keine sehr strenge Bestimmung fordern, zumal dann, wenn die Vergröſserung nicht über das 20fache, oder 30fache hinausgeht. Zu genauern Bestimmungen führen die im Folgenden angeführten Berechnungen. Das *Feld des Fernrohrs* bestimmt man nach dem Sehewinkel, so daſs der Halbmesser des Sehefeldes in Graden und Minuten angegeben die Gröſse des auf einmal zu übersehenden Raumes ausdrückt. Man findet es bei einem gegebenen Fernrohre am besten durch eine Reihe astronomischer Beobachtungen. Zu diesem Zwecke stellt man das Fernrohr in unveränderlicher Stellung auf, und beobachtet die Zeit, welche irgend ein bekannter Stern gebraucht, um den ganzen Durchmesser des Feldes zu durchlaufen; hat das Instrument ein Fadenkreuz, so kann man bei gut gearbeiteten Instrumenten den Faden als den Durchmesser ansehen und das Fernrohr so stellen, daſs der Stern genau an dem Faden durchgeht; sonst aber muſs man bei wiederholter Beobachtung den Durchgang so zu erhalten suchen, daſs der Stern nicht eine Sehne, sondern den Durchmesser durchläuft. Für jeden bekannten Stern, dessen Declination man kennt, ist bekannt,

welchen Bogen er in gegebener Zeit durchläuft, und so erhält man also unmittelbar die Gröfse des Feldes in Minuten und Secunden ausgedrückt, am besten, wenn man bei Beobachtungen verschiedener Sterne ein Mittel aus den Beobachtungen nimmt.

Um die Lichtstärke abzuschätzen, mufs man das Mafs von Licht, welches das freie Auge von eben dem Gegenstande empfängt, als Einheit voraussetzen. Wenn der Halbmesser der Pupille $= a$ ist, und man durch l die bei jedem bestimmten Gegenstande verschiedene eigenthümliche Lichtstärke bezeichnet, so ist $\pi a^2 l$. der Ausdruck für das gesammte vom Auge aufgefangene Licht. Diese Lichtstärke, welche den gesammten Eindruck auf das Auge bestimmt, kommt allein in Betrachtung da, wo von keiner erheblichen scheinbaren Gröfse die Rede ist. Dagegen mufs man den Grad der Lichtstärke jedes einzelnen Punctes in dem uns erscheinenden Gegenstande, oder den Grad der Erleuchtung jedes einzelnen Punctes in dem auf der Retina dargestellten Bilde betrachten, wenn der Gegenstand eine erhebliche scheinbare Gröfse hat. Wäre zum Beispiel der gesehene Gegenstand kreisförmig von scheinbarem Halbmesser $= \varphi$, so wäre dieses Bild auf der Retina der Gröfse $\pi \varphi^2$ proportional, und jene gesammte Lichtmenge über das Bild ausgetheilt, gäbe eine mittlere Helligkeit $= \frac{a^2 l}{\varphi^2}$, als die gesehene Klarheit für jeden Punct des Gegenstandes. Wenn nun ein Fernrohr die Menge des dem Auge zugeführten Lichtes so vergröfsert, dafs sie $\mu . \pi a^2 l$ wird, statt dafs sie für das blofse Auge $= \pi a^2 l$ war, so ist die absolute Lichtstärke des Fernrohrs $= \mu$; aber wenn zugleich der Sehewinkel so vergröfsert wird, dafs er $\lambda \varphi$ ist, so wird man bei Gegenständen, deren scheinbare Gröfse in Betrachtung kommt, die gesehene Helligkeit jedes Punctes $= \frac{\mu}{\lambda} \frac{a^2 l}{\varphi^2}$ setzen müssen.

Herschel knüpft hieran eine andere Betrachtung[1]. Wenn ein entfernter kugelförmiger Weltkörper Licht von bestimmter Intensität besitzt: so ist der Lichteindruck auf unser Auge nicht blofs der Intensität $= i$, sondern auch der scheinbaren Flächengröfse $= \pi \varphi^2$ proportional. Aber φ ist der Entfernung $= D$

1 Philos. Transact. for 1800, und daraus in Bode's Jahrbuch für 1804. S. 231.

umgekehrt proportional, also, da hier bloſs von proportionalen Ausdrücken die Rede ist, die uns zugesandte Lichtstärke $= i . \pi \varphi^2$, oder $= \frac{i}{D^2}$. So können wir also das gesammte von unserm Auge aufgefangene Licht $= \frac{a^2 . i}{D^2}$ setzen, oder dieses der Flächengröſse der Pupille und der Intensität i direct, dem Quadrate der Entfernung D umgekehrt proportional setzen. Besitzen wir nun ein Fernrohr, das dem Auge die gesammte Lichtmenge $= \frac{\mu . a^2 . i}{D^2}$ zuführt, und ist durch dieses Fernrohr die Empfindung in unserm Auge so, wie sie dem bloſsen Auge seyn würde, wenn derselbe Gegenstand sich in der Entfernung $\frac{1}{m}$ D befände, so ist $\frac{\mu . a^2 i}{D^2} = \frac{a^2 i}{\frac{1}{m^2} D^2} = \frac{m^2 a^2 i}{D^2}$, also $m = \sqrt{\mu}$. Hiernach ist also $m = \sqrt{\mu}$ die *Raum durchdringende Kraft* (*space penetrating power*) des Fernrohrs, oder ein Fernrohr, das dem Auge μ mal so viel Lichtstrahlen zuführt, als das bloſse Auge empfinge, zeigt Gegenstände in der Entfernung $D . \sqrt{\mu}$ mit eben so viel gesammtem Glanze, als sie dem bloſsen Auge erschiene, wenn ihre Entfernung $= D$ wäre.

Herschels 40fuſsiger Telescop bringt über 36500 mal so viel Lichtstrahlen in das Auge, als das bloſse Auge von eben dem Gegenstande empfinge, und seine Raum durchdringende Kraft ist daher = 191, oder dieses Fernrohr würde den Sirius, wenn er 191 mal so weit hinausgerückt würde, noch eben so glänzend zeigen, als er jetzt dem bloſsen Auge erscheint[1].

Die *Deutlichkeit* des Bildes im Fernrohr würde vollkommen seyn, wenn die Gläser oder Spiegel alle von *einem* Puncte ausgehenden Strahlen in *einem* Puncte vereinigten. Dieses geschieht nicht, theils vermöge der Abweichung wegen der Kugelgestalt, theils vermöge der Abweichung wegen der Farbenzerstreuung, die letzte kommt bei vollkommen achromatischen Gläsern und bei Spiegelteleskopen nicht in Betrachtung, bei den nicht achromatischen, dioptrischen Fernröhren aber machte sie

---

1 Vergl. unten No. 13.

gerade die Hauptsache aus, und deshalb diente sie zu Begründung der von HUYGENS für die Apertur gegebenen Regeln[1].

5. Die *Axe des Fernrohrs* ist diejenige gerade Linie, in welcher sich die Mittelpuncte aller der Kugelflächen befinden, deren Theile die Oberfläche der convexen oder concaven Gläser sind. Alle diese Mittelpuncte müssen in derselben geraden Linie liegen, wenn das Fernrohr seine Dienste thun soll, und es fallen dann zugleich die Brennpuncte der Gläser, es mögen nun wahre Sammlungspuncte oder Zerstreuungspuncte seyn, in eben die gerade Linie. Ist die Stellung der Gläser dieser Forderung gemäfs berichtigt, so heifst das Fernrohr richtig *centrirt*. Wie der Weg der Lichtstrahlen durch die Linsengläser bestimmt werden mufs, wird in dem Artikel *Linsengläser* umständlich gezeigt; ich werde hier die dort anzugebenden Formeln blofs anführen und ihrem Sinne nach erklären.

Es sey $\frac{n}{m}$ das Brechungsverhältnifs für Strahlen, die aus Luft in das Glas der zu betrachtenden Linse übergehen; r und ϱ sind die Halbmesser der beiden Kugeln, denen die beiden Oberflächen des Linsenglases zugehören; b ist die Entfernung des Gegenstandes vom Linsenglase, x die Entfernung des Bildes oder des Sammelpunctes hinter dem Glase, so ist

$x = \frac{n b r \varrho}{(m - n)\, b\, (r + \varrho) - n r \varrho}$, wenn die Dicke des Glases als unbedeutend nicht beachtet wird. Diese Formel gilt für alle einfachen Linsengläser, nur mufs, da sie für Gläser, die an beiden Seiten convex sind, eingerichtet ist, derjenige Radius r oder ϱ, welcher einer concaven Oberfläche entspricht, als negativ in die Rechnung gebracht werden. Wenn hier x positiv ausfällt, so bedeutet es eine Entfernung des Bildes an der dem Objecte entgegengesetzten Seite; negative Werthe von x zeigen dagegen an, dafs die Strahlen an jener Seite des Glases so fortgehen, als ob sie von einem in der Entfernung $= x$ vor dem Glase liegenden Puncte ausgingen. In jenem Falle, der bei Convexgläsern und erheblich entfernten Gegenständen immer statt findet, ist es ein wirklicher *Sammelpunct* der Strahlen, in dem andern Falle, der bei Hohlgläsern eintritt, ist es ein *Zer-*

---

1 Vergl. nachher No. 14.

strnuungspunct, und nur in jenem Falle ist ein wirkliches Bild vorhanden. Wenn der Gegenstand sehr entfernt liegt, so kann b als unendlich grofs angesehen werden, und dann geht x in die Brennweite $f = \frac{n r \varrho}{(m-n)(r+\varrho)}$ über und man erhält nun allgemein $x = \frac{b f}{b-f}$. Ich gehe nun zu Betrachtung der einzelnen Einrichtungen der Fernröhre über.

Das Holländische oder Galiläische Fernrohr.

6. Das zuerst in Gebrauch gekommene Fernrohr, welches das holländische Fernrohr (*tubus batavus*; telescope hollandois; *dutch telescope*) oder das Galiläi'sche Fernrohr (*tubus Galilaeanus*; lunette de Galilée; *Galileo's telescope*) genannt wird, gewährte die Annehmlichkeit, dafs man mit zwei Gläsern nicht nur ein vergröfsertes, sondern auch ein aufrechtes Bild des Gegenstandes erhielt. Das Objectivglas war ein convexes Glas von nicht zu kleiner Brennweite, das Ocularglas ein concaves Glas von geringerem Abstande des Zerstreuungspunctes. Um die Wirkung des Instrumentes zu beurtheilen, will ich zuerst Strahlen, die von einem ungemein entfernten in der Axe des Fernrohrs liegenden Puncte A ausgehen, betrachten. Diese fallen, weil sie von einem so entfernten Puncte ausgehen, fast völlig parallel auf, und vereinigen sich in dem Brennpuncte a des Objectivglases. Wir sehen hier diese Vereinigung als vollkommen an, obgleich sie bei sehr grofsen Linsen das nicht wäre, da hier nur von Linsen, deren Kugeltheile sehr kleine Bogen umfassen, die Rede ist. Eben so würden Strahlen mn, pC, welche geneigt gegen die Axe, unter sich parallel einfallen, sich in b vereinigen, und der Punct b würde bestimmt, wenn man auf dem durch die Mitte C des Glases gehenden Strahle, welcher ungebrochen durchgeht, Cb der Brennweite gleich auftrüge. In ab würde sich nun ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes darstellen, wenn nicht das zwischen C und ab aufgestellte Hohlglas die nach a convergirenden oder vielmehr nach den einzelnen Puncten von ab convergirenden Strahlen auffinge. Steht dieses Hohlglas so, dafs a sein Zerstreuungspunct ist, so lehrt die

Fig. 29.

Theorie der Linsengläser, daſs die gegen a convergirenden Strahlen, wie uR, Cv, nach dem Durchgange durch das concave Glas parallel werden, und daſs also ein fernsichtiges Auge in o den Punct A deutlich sieht. Eben so werden die mit pC parallel einfallenden, nach der Brechung im Objectivglase gegen b convergirenden Strahlen, bei der eben angenommenen Stellung des Oculars, aus diesem unter sich parallel, so wie vb, st, hervorgehen, und das Auge in o wird auch den Punct, von welchem sie ausgehen, und so alle zwischen jenen liegende Puncte deutlich sehen.

7. Das Auge in o sieht aber auch den Gegenstand vergröſsert. Wenn pC, AC die Strahlen sind, die von dem obersten und untersten Puncte des Gegenstandes zum Auge kommen, so würde ein Auge in C den Gegenstand unter dem Sehewinkel pCA sehen, und da das Auge in o so wenig weiter entfernt ist, daſs dieses in Vergleichung gegen die Entfernung des Gegenstandes nicht in Betrachtung kommen kann, so ist pCA der natürliche Sehewinkel für das Auge in o der durch das Fernrohr vergröſserte Sehewinkel dagegen ist rov, und es läſst sich leicht zeigen, in welchem Verhältnisse dieser gröſser als pCA ist. Die beiden durch die Mitte des Objectivglases gehenden Strahlen Aa, pb, würden ungebrochen nach a und b gelangen, wenn das Ocular nicht da wäre; aber im Ocular wird Csb in die Richtung st gebrochen und unter den gegen b gerichteten Strahlen kommt nur der durch die Mitte des Oculars gehende Strahl uvb nach b, und mit ihm sind alle ausfallende vom obern Puncte des Gegenstandes herkommende Strahlen ro, vb, st parallel. Der Winkel $rov = avb$ ist also so bestimmt, daſs $ab = va \,.\, \text{Tang.}\, rov = Ca \,.\, \text{Tang.}\, pCA$ ist, oder da hier Tangente und Bogen als gleich anzusehen sind, der Winkel $rov = \frac{Ca}{va} . pCA$, der vergröſserte Sehewinkel verhält sich also zum natürlichen Sehewinkel, wie Ca zu va, wie die Brennweite des Objectivs zu der Entfernung des Zerstreuungspunctes des Oculars. Wenn also zum Beispiel mit einem Ocular, dessen Zerstreuungspunct 1 Zoll entfernt ist, eine 30malige Vergröſserung bewirkt werden sollte, so müſste das Objectiv 30 Zoll Brennweite haben. Die Länge des Fernrohrs, d. h. der Abstand beider Gläser von einander, ist dem Unterschiede beider Brennweiten gleich. Wenn die Gläser so geschliffen sind, daſs

beide convexe Seiten des Objectivs einerlei Kugelfläche angehören, so ist die Brennweite

$$f = \frac{n r}{2(m - n)},$$

und wenn eben so r' den Halbmesser beider Oberflächen des Hohlglases bezeichnet, so ist für dieses

$$f' = \frac{-n . r'}{2(m - n)},$$

also $\frac{f}{f'} = \frac{r}{r'}$, die Vergröſserung. In andern Fällen würde dieser Ausdruck verwickelter, wenn man ihn durch die Radien angeben wollte.

8. Dieses Fernrohr hat die Unbequemlichkeit, ein sehr kleines Gesichtsfeld zu geben, besonders dann, wenn das Auge nicht ungemein nahe hinter dem Augenglase steht. Stellt in unserer Figur u den äuſserten Punct des Glases vor, so ist z u der äuſserste gegen die Axe geneigte Strahl, welcher noch nach z u r o gebrochen, das Auge o erreicht, und wenn p C mit z u parallel ist, so ist p C A der Halbmesser des Gesichtsfeldes. Das Bild a b soll hier alles was in dem Halbmesser des Gesichtsfeldes liegt, darstellen, und wenn ich also diesen $= \varphi = pCA$ nenne und Bogen und Tangente verwechsle, so ist $ab = Ca . \varphi = f . \varphi$, wenn f die Brennweite ist. Der Punct r, wo der äuſserste auf das Glas fallende und nach b gelangende Strahl das Ocular trifft, wird hier zunächst durch r v vermittelst der Proportion $(ab + rv) : ab + cu = av : aC$, oder wenn der Halbmesser des Objectivs $Cu = h$ ist, durch

$$f . \varphi + rv : f . \varphi + h = f' : f,$$

$$\text{das ist } rv = f' . \varphi + \frac{f'}{f} . h - f . \varphi$$

bestimmt. Nenne ich aber die Entfernung des Auges vom Ocular $ov = z$, so ist auch $rv = z . \frac{f\varphi}{f'}$ und daher $\varphi = \frac{h . f'^2}{f(zf + (f - f')f')}$.

Bei einem Objective also, dessen Halbmesser $= h$, einen Zoll betrüge, und das zehnmal vergröſsern sollte, also $\frac{f}{f'} = 10$, würde $\varphi = \frac{\frac{1}{10} . h}{10 . z + 9 . f'}$ also für $z = \frac{1}{4}$ Zoll und $f' = 1$ Zoll, $\varphi = 31'$; dagegen für $z = \frac{1}{2}$ Zoll, $\varphi = 24'$. Sollte aber $\frac{f}{f'} = 20$ seyn, und $h = f' = 1$, so wäre für $z = \frac{1}{4}$ Zoll, $\varphi = 8'$,

ein ungemein kleines Sehefeld, dabei müſste $vr = \frac{hz}{z\frac{f}{f'} + (f - f')}$ seyn, oder so groſs müſste wenigstens der Halbmesser des Oculars seyn, um die vom Rande des Gesichtsfeldes kommenden Strahlen noch durchzulassen. Die Kleinheit der Gesichtsfeldes, selbst bei mäſsigen Vergröſserungen, ist der Grund, warum dieses Fernrohr nicht mehr im Gebrauche ist, und nur noch zu Taschenfernröhren angewandt wird, wobei $\frac{f}{f'}$ kaum jemals einen höhern Werth als 4 oder 5 hat. In diesem Falle wird, wenn h auch nur $\frac{1}{4}$ Zoll ist, und $f' = 1$ Zoll, $z = \frac{1}{4}$ Zoll wäre, φ doch beträchtlich über 1 Grad. Das Gesichtsfeld würde vergröſsert, wenn man zwischen den bisher betrachteten beiden Gläsern noch ein convexes Glas einsetzte, aber da wir eine ähnliche Einrichtung zur Sammlung der Strahlen nachher bei dem astronomischen Fernrohr betrachten müssen, so will ich sie hier übergehen.

9. Dagegen muſs ich doch noch erwähnen, was für Aenderungen dieses Fernrohr erleiden muſs, wenn der beobachtete Gegenstand weniger entfernt ist, und ferner wenn das Auge kurzsichtig ist.

Wenn der Gegenstand näher ist, so daſs in der Formel für x (No. 5.) das letzte Glied des Nenners nicht ganz unbedeutend wird, so wird der Abstand des Bildes, Ca, gröſser. Nehmen wir noch immer einen fernsichtigen Beobachter an, der also das Augenglas so stellt, daſs es ihm parallele Strahlen giebt: so muſs dieser das Augenglas ein wenig vom Objective entfernen, nämlich so, daſs der Zerstreuungspunct des Hohlglases nun mit dem in der Axe liegenden Puncte des Bildes zusammenfällt. Da man nie ungemein nahe Gegenstände betrachtet, so wird $x = \frac{fb}{b-f}$ oder wenn $b = \mu f$ ist, $x = \frac{\mu}{\mu - 1} \cdot f$, niemals sehr von f verschieden, jedoch für einen Gegenstand, dessen Entfernung zehnfach so groſs als f, erhielt man $x = f + \frac{1}{9} f$, so daſs das Vorrücken des Oculars allerdings ein Neuntel der Brennweite betragen würde. Ist der Beobachter dagegen kurzsichtig, richtet aber seine Beobachtung auf einen unendlich entfernten Gegenstand, so bleibt Ca die wahre Brennweite,

aber nun muſs der Beobachter das Ocular ein wenig dem Objective nähern, damit der Zerstreuungspunct des Hohlglases ein wenig vor dem Bilde a liege, und die Strahlen nicht unter sich parallel, sondern ein wenig divergirend aus dem Ocular hervorgehen.

Das astronomische Fernrohr.

10. Die Einrichtung des astronomischen Fernrohrs (*tubus astronomicus seu coelestis*; lunette astronomique; *astronomical telescope*) ist Kepler's Erfindung [1]. Er stellte die Theorie der Linsengläser zuerst, so weit es die damals bekannten Brechungsgesetze gestatteten, gründlich dar, und zeigte, daſs man durch zwei convexe Gläser bei gehöriger Stellung die Gegenstände zwar umgekehrt, aber vollkommen deutlich und vergröſsert sehe; dabei aber übersehe man viel auf einmal, oder das Gesichtsfeld sey bedeutend groſs. Auf das convexe Glas DE fallen die Strahlen von einem unendlich entfernten Gegenstande; die in der Richtung AC auffallenden Strahlen vereinigen sich in dem Puncte a, die mit pC parallel einfallenden in b und ab ist das umgekehrte Bild des Gegenstandes. Das convexe Augenglas GH ist so aufgestellt, daſs es seinen Brennpunct gleichfalls in a hat, und die in a sich durchkreuzenden Strahlen werden, weil sie vom Brennpuncte des Linsenglases GH ausgehen, so gebrochen, daſs sie unter sich und mit der Axe parallel ausfallen, also dem Auge in o, wenn es fernsichtig ist, ein vollkommen deutliches Bild geben. Auch die in b sich durchkreuzenden Strahlen gelangen aus der Brennweite zum Augenglase und man kann den durch die Mitte v des Augenglases gehenden Strahl bv fast ganz als ungebrochen durchgehend, alle andern aber als nach der Brechung mit bv parallel ansehen. Das Auge sieht also jeden Punct des Bildes vermittelst paralleler Strahlen, also deutlich. Aber der Gegenstand erscheint umgekehrt, da der von b kommende Strahl bdo von einem unterhalb ov liegenden Puncte herkömmt, da doch der Punct in der Richtung Cp, von welchem b das Bild ist, oberhalb oA liegt.

Fig. 80.

11. Die *Vergröſserung* wird auch hier durch den Quotien-

---

1 Dioptrice, s. demonstratio eorum, quae visui et visibilibus propter conspicilla nuper detecta accidunt. August. Vind. 1611.

ten der Brennweiten ausgedrückt, indem, wenn man den Bogen oder Winkel mit seiner Tangente verwechselt,

$$a v b = \frac{a C}{a v} \cdot a C b = \frac{a C}{a v} \cdot A C p$$

ist. Es erhellet aber aus dem Vorigen leicht, daſs A C p die scheinbare Gröſse, wie sie dem bloſsen Auge erscheint, $a v b = v o \beta$ die scheinbare Gröſse durch das Fernrohr ist. Die *Länge des Fernrohrs* ist die Summe der Brennweite beider Gläser. Das *Gesichtsfeld* ist hier viel gröſser, als in dem Fernrohre des Galilaei; denn ein Auge in o, das etwas mehr als um die Brennweite vom Augenglase entfernt ist, erhält Licht von allen Strahlencylindern, die durch das Fernrohr durchgehen. Der vortheilhafteste Punct, wo das Auge seine Stellung nehmen muſs, wird so bestimmt. Wenn man durch den Mittelpunct des Objectivglases sich Linien p C b und andere, die von verschiedenen Gegenständen herkommen, gezogen denkt, so sind dieses allemal diejenigen, welche dem Bilde a b das beste Licht zuführen, indem die sehr nahe um den Mittelpunct einfallenden Strahlen sich am vollkommensten in *einem* Puncte des Bildes vereinigen. Wären diese Strahlen allein da; so würden sie sich als von dem Puncte C ausgehend, dessen Entfernung C v vom Augenglase $= b$ sey, so in o vereinigen, daſs $v o = \frac{b \cdot f'}{b - f'}$ wäre, wenn f' des Augenglases Brennweite[1] bedeutet. Dadurch wird also ein Punct o als Ort des Auges bestimmt, wo das Auge alle diese auf die Mitte des Objectives auffallende Strahlen, so fern sie durch das Augenglas zum Auge gelangen können, empfängt. Da hier $C v = b = f + f'$ ist, wenn man unter f des Objectivglases Brennweite versteht, so ist die Lage jenes Punctes auch durch $v o = f' + f' \cdot \frac{f'}{f}$ bestimmt. Hiernach könnte es scheinen, als ob man das Gesichtsfeld ungemein groſs erhalten könnte; aber da das Augenglas eine bedeutende Vergröſserung geben, eben deshalb aber die convexen Flächen kleinen Kugeln angehören müssen, so ist die Grenze gleichwohl ziemlich bestimmt. Das Auge o kann nämlich nicht mehr übersehen, als die Gegenstände, deren Lichtstrahlen das Augenglas durchläſst, folglich, wenn wir jetzt nur auf die nahe um

1 S. No. 5.

die Mitte C einfallenden Strahlen sehen, nur die, als die äufsersten, von welchen der gerade fortgeführte Lichtstrahl p C den Rand H des Oculars träfe. Diese Gegenstände scheinen dem Auge o um den Winkel v o H von der Axe entfernt zu liegen; der Winkel aber, um welchen eben diese Gegenstände dem bloſsen Auge von der Axe entfernt zu liegen scheinen, ist der Halbmesser des Gesichtsfeldes $= HCv = pCA$, und dieser Winkel kann $\varphi = \frac{h'}{f+f'}$ gesetzt werden, wenn h' der Halbmesser des Augenglases ist; φ ist also so groſs, als der Halbmesser des Oculars von dem Mittelpuncte des Objectives aus gesehen, erscheint. Bei kurzen Fernröhren müſste man aus $\text{Tang}.\, pCA = \frac{h'}{f+f'}$ den Winkel selbst erst suchen. Uebrigens versteht es sich von selbst, daſs h' der Halbmesser des offenen Theiles des Augenglases ist, wenn dieses zum Theil durch eine Blendung bedeckt wäre.

12. Man kann ein gröſseres Gesichtsfeld mit Hülfe eines doppelten Oculars erhalten. Um die Wirkung dieses doppelten Oculars in Hinsicht auf Vergröſserung zu übersehen, nehme ich das erste Ocular zwischen dem Objectiv und seinem Brennpuncte in der Entfernung $fx = k$ vom Brennpuncte an. Fig. 31.

Da nun die im Objective gebrochenen Strahlen gegen f convergiren, so ist in der Formel (No. 4.) $b = -k$ zu setzen, und $x = gx = \frac{kf'}{k+f'}$ giebt den Abstand des Bildes g m vom Oculare; die Strahlen, welche sonst in f gesammelt wären, kommen nun in g, die welche sonst in l gesammelt wären, kommen nun in m zusammen. Das zweite Ocular sey in z aufgestellt, so daſs z g die Brennweite $= f''$ ist; dann sieht ein jenseits z t stehendes Auge den Gegenstand durch parallele Strahlen deutlich, aber umgekehrt so wie das Bild g m es zeigt. Der Sehewinkel, der ohne Fernrohr $= fCl = \varphi$, war, ist $= gzm$ geworden, und wenn man $f'' = x$, oder $zg = gx$ nimmt, so ist $gzm = gxm = \frac{f}{k}\varphi$, weil $fl = f.\varphi = k.gxm$ ist, da hier Winkel und Tangente verwechselt werden dürfen. Die Vergröſserung ist also $= \frac{f}{k}$.

Die Gröfse des Gesichtsfeldes wird auch hier durch den Winkel $x C y = \varphi$ bestimmt, wenn $y x$ der Halbmesser des ersten Oculars ist, und dieser Winkel würde hier durch $\frac{h'}{f - k}$ ausgedrückt, wenn h' den Halbmesser des Augenglases angäbe. Also, wenn hier die Vergröſserung $= \frac{f}{k} = m$ heiſst, so wäre $\varphi = \frac{h'}{k(m-1)}$. Ich will dieses sogleich auf ein bestimmtes Beispiel anwenden. Das erste Ocular sey so aufgestellt, daſs $k = \frac{1}{2} f'$ ist, so würde die Vergröſserung $= \frac{2f}{f'} = m$; f'', welches $= x$ war, würde $= \frac{1}{3} f'$. Das zweite Ocular muſs einen so grofsen Halbmesser $= h''$ haben, daſs jener Hauptstrahl $C y$, der die Axe in C schneiden würde, das Ocular noch treffe. Die Entfernung $x o$ wird hier $= \frac{c x \,.\, f'}{c x - f'} = \frac{(f-k) f'}{f-k-f'} = \frac{(f - \frac{1}{2} f') f'}{f - \frac{3}{2} f'}$

und folglich $z o = x o - 2 f'' = x o - \frac{2}{3} f'$

$$= f' \left(\frac{2f - f'}{2f - 3f'}\right) - \frac{2}{3} f' = \frac{\left(\frac{2}{3} f + f'\right) f'}{2f - 3f'}$$

und offenbar $h'' = \frac{h' \,.\, z o}{x o} = h' \left(\frac{\frac{2}{3} f + f'}{2f - f'}\right)$.

Da nun h'' einen gewissen Theil der Brennweite nicht überschreiten darf, ohne Undeutlichkeit der Bilder zu bewirken, so sey $h'' = \mu f''$; dieses richtige Maaſs dann ist

$$h' = h'' \left(\frac{2f - f'}{\frac{2}{3} f + f'}\right)$$

$$= \mu f'' \left(\frac{2f - f'}{\frac{2}{3} f + f'}\right)$$

$$= \mu f' \left(\frac{2f - f'}{2f + 3f'}\right),$$

so daſs h' noch etwas geringer wird, als es nach jenem Verhältnisse wohl dürfte. Hätte man mit *einem* Ocular die Ver-

größerung $=\frac{2f}{f'}$ erreichen wollen, so hätte man dem Ocular die Brennweite $=\frac{1}{2}f'$ geben müssen, und dann wäre der Halbmesser des Gesichtsfeldes $=\frac{\frac{1}{2}\mu f'}{f+\frac{1}{2}f'}$ geworden; jetzt hingegen hat man bei eben der Vergrößerung den Halbmesser des Gesichtsfeldes $=\frac{h'}{k(m-1)}=\frac{h'}{f-\frac{1}{2}f'}$ und da $h'=\frac{\mu f'(2f-f')}{2f+3f'}$ seyn sollte, so ist des Gesichtsfeldes Halbmesser $=\frac{2\mu f'}{2f+3f'}$ oder $=\frac{\mu f'}{f+\frac{3}{2}f'}$, welches fast genau das Doppelte dessen ist, was wir bei dem einfachen Oculare erhielten.

13. Die *Lichtstärke* des Fernrohrs läſst sich aus folgenden Ueberlegungen beurtheilen. Wenn h der Halbmesser des Objectivs ist, so fällt von eben dem Gegenstande, der dem bloſsen Auge die Lichtmenge $\pi \cdot a^2 \cdot 1$ zusandte[1], auf das Objectivglas die Lichtmenge $=\pi h^2 . 1$, und wenn das Augenglas alle diese vereinigten Strahlen, nachdem sie durch den Brennpunct gegangen sind, auffängt, und wenn dann der Augenstern groſs genug ist, sie aufzunehmen, so ist, in Hinsicht auf den gesammten Glanz, die Lichtstärke des Fernrohrs $=\pi \cdot h^2 \cdot 1$ $=\frac{h^2}{a^2}\cdot\pi\cdot a^2 . 1$, oder $\frac{h^2}{a^2}$ drückt dann das aus, was ich in No. 4. μ nannte.

Wenn der Gegenstand ein so höchst kleiner ist, wie ein Fixstern, so hat man allein diese ganze Lichtmenge zu bestimmen nöthig, jedoch müſste man, wenn der Augenstern nicht den ganzen Lichtkegel d a e faſste, deſshalb eine Reduction vornehmen, die aber, weil $vd=\frac{h.f'}{f}$ ist, nur dann nöthig wird, wenn $a<\frac{hf'}{f}$ ist. Wäre der Gegenstand kein Fixstern, sondern gröſser, so daſs sein Bild einen erheblichen Raum a b ein- (Fig. 80.)

1 Vergl. No. 4.

nimmt, so wäre nach den frühern Bemerkungen der mittlere Grad der Erleuchtung auf der Retina beim bloſsen Auge der Gröſse $\frac{a^2 l}{\varphi^2}$ proportional; wo φ den scheinbaren Halbmesser bedeutet, und jetzt würde, da das Bild auf der Retina dem vergröſserten Sehewinkel $= \frac{\varphi . f}{f'}$ gemäſs ist, die vergröſserte Lichtmenge $= \pi h^2 . l.$ durch $\frac{\pi . \varphi^2 f^2}{f'^2}$ zu dividiren seyn, also $\frac{h^2}{\varphi^2} . \frac{f'^2}{f^2} l$ würde der Ausdruck für die dem Auge erscheinende Helligkeit seyn; und $\frac{h^2 f'^2}{a^2 f^2}$ zu 1 würde ihr Verhältniſs zu derjenigen angeben, welche für das bloſse Auge, wenn es denselben Gegenstand betrachtete, statt fand. Diese Formel ergiebt in Beziehung auf Gegenstände von merklichem scheinbarem Durchmesser die Regel, daſs die mittlere Intensität des Glanzes zwar erstlich der Gröſse der Fläche des Objectivglases direct, dann aber auch dem Quadrate der Vergröſserung umgekehrt proportional ist. Auf den Lichtverlust beim Durchgange durch beide Gläser ist hier nicht gesehen; wenn man durch Versuche den Bruch kennt, der das Verhältniſs des von ihnen durchgelassenen Lichtes gegen das auffallende angiebt, so muſs jener Ausdruck noch damit multiplicirt werden. Wenn also z. B. das groſse FRAUNHOFER'sche Fernrohr in Dorpat 9 Zoll Objectiv-Oeffnung hat, und wir dem Augenstern die Gröſse $= \frac{1}{6}$ Zoll beilegen[1], so wäre die absolute Lichtstärke $= 54^2$, und die Raum durchdringende Kraft $= 54$; für einen Körper dagegen, der merklich vergröſsert gesehen wird, wäre bei der schwächsten 140 maligen Vergröſserung die Helligkeit jedes Punctes $= \left(\frac{54}{140}\right)^2 = \frac{1}{7}$ ungefähr, bei der stärksten 480 maligen Vergröſserung $= \left(\frac{54}{480}\right)^2 = \frac{1}{80}$ ungefähr, und es erhellet also, warum man bei Gegenständen, die nicht sehr lichtvoll sind, die Vergröſserung nicht zu weit treiben darf.

14. Bei denjenigen astronomischen Fernröhren, welche

1 Nach HERSCHEL Astr. Jahrb. 1804. S. 231.

noch keine achromatische Objective hatten, verdiente vorzüglich die Frage, wie grofs man die Objectiv-Oeffnung nehmen dürfe, ohne ein durch die Farbenzerstreuung zu sehr undeutlich werdendes Bild zu erhalten, eine genauere Untersuchung. Diese Frage war um so wichtiger, da, wie wir eben gesehen haben, die Lichtstärke des im Fernrohr gesehenen Bildes mit der Gröfse der Oeffnung sehr zunimmt, und man von dieser so wenig als möglich aufzuopfern wünschte. Huygens hat vorzüglich sich bemüht [1], die Regeln, wonach die Gröfse der Oeffnung, die Apertur *(apertura*, ouverture, *aperture)*, der freie Durchmesser des Objectivs, bestimmt werden müsse, anzugeben; hatte das Objectiv einen gröfseren Durchmesser, so mufste dieser mit einer *Blendung (annulus, aperturam lentium definiens)*, das ist mit einem Ringe von Holz, Blech oder Pappe, belegt werden, um die vom Rande herkommenden, das Bild undeutlich machenden, Strahlen abzuhalten. Huygens's Regeln beruhen auf folgenden Ueberlegungen.

Wenn man die Abweichung wegen der Kugelgestalt, als unbedeutend gegen die wegen der Farbenzerstreuung, bei Seite setzt, so kommt hier alles auf die Betrachtung zurück, dafs die Brennweite des Objectivglases nicht dieselbe ist für die Strahlen der einen und der andern Farbe. Das Brechungsverhältnifs $\frac{n}{m}$ ist, wenn ich hier nur bei Newton's Bestimmung stehen bleibe, indem jede einzelne Glasart doch etwas anderes giebt, $=0{,}65$ für rothe, und $0{,}641$ für violette Strahlen, und der Brennpunct der rothen Strahlen h liegt also in der Entfernung $=\frac{0{,}65}{0{,}35}\cdot\frac{r\cdot\varrho}{(r+\varrho)}$; der Brennpunct k der violetten Strahlen in der Entfernung $=\frac{0{,}641}{0{,}359}\cdot\frac{r\cdot\varrho}{r+\varrho}$. Stellen wir also das Augenglas so, dafs wir den mitten zwischen k und h liegenden Punct am deutlichsten sehen, so vereinigen sich hier die auf das Objectiv AB auffallenden von einerlei Puncten ausgehenden Strahlen nicht in einen einzigen Punct, sondern in einen Kreis vom Halbmesser

Fig. 32.

$$=\frac{CA\,.\,kh}{kC+hC}=\frac{h\,.\,(1{,}857-1{,}786)}{1{,}857+1{,}786}=\frac{h\,.\,(0{,}071)}{3{,}643}=h\,.\,0{,}0195$$

1 Hugenii opuscul. posth. Lugd. Bat. 1703.

wenn h der Halbmesser des Objectives ist. Die Zahl 0,0195, welche stets dieselbe bleibt, wenn man einerlei Glasart beibehält, will ich $= \zeta$ setzen, so ist dieses Kreises Inhalt $= \pi . \zeta^2 . h^2$.

Dieser Kreis erscheint aber desto gröſser oder macht auf der Netzhaut ein desto gröſseres Bild, je näher das Auge steht, oder welches hier dasselbe ist, je kleiner die Brennweite des Augenglases ist. Jenes kleinen Kreises Halbmesser nämlich erscheint dem durch das Augenglas von der Brennweite f′ sehenden Auge unter einem Sehewinkel, dessen Tangente $= \frac{\zeta . h}{f'}$ ist, und der auf der Netzhaut dss Auges hervorgebrachte Kreis hat also eine der Gröſse $\frac{\zeta^2 . h^2}{f'^2}$ proportionale Gröſse, und dieser Ausdruck giebt das Maſs der Undeutlichkeit, welche verschwinden würde, wenn $\zeta = 0$ wäre oder ein von Farbenzerstreuung freies Objectivglas genommen würde. Bei gleicher Glasart ist er dem Quadrate von h direct, dem Quadrate von f′ umgekehrt proportional.

Die Frage, welche Apertur man dem Fernrohre geben dürfe, kam nun darauf hinaus, zu bestimmen, wie groſs die Apertur $= 2H$ eines andern Fernrohrs seyn dürfe, dessen Objectiv und Ocular die Brennweite F und F′ haben, wenn die Lichtstärke und Deutlichkeit in beiden Fernröhren gleich seyn soll. Die Gleichheit der Lichtstärke wurde durch

$$\frac{h^2 . f'^2}{f^2} = \frac{H^2 . F'^2}{F^2},$$

die Gleichheit der Deutlichkeit durch

$$\frac{h^2}{f'^2} = \frac{H^2}{F'^2}$$ angegeben; soll also die Vergröſserung $\frac{F}{F'} = v . \frac{f}{f'}$ seyn, oder das zu bestimmende Fernrohr v mal so viel als das andere vergröſsern, so muſs $F' = v f'$ und $H = v . h$ seyn, und $F — v^2 . f$, oder $H^2 : h^2 = F : f$. Die Brennweite des Augenglases und eben so auch die Apertur sind also der Vergröſserung proportional, beide aber auch der Quadratwurzel aus der Brennweite des Objectivs. Wenn man also 20 malige Vergröſserung bei 1 Fuſs Brennweite des Objectivs, 0,55 Zoll Apertur und 0,61 Zoll Brennweite des Augenglases erreichte, so ward für 100 malige Vergröſserung eine Brennweite des Objectivs $= 25$ Fuſs, Apertur $= 2{,}75$ Zoll, Brennweite des Oculars $= 3{,}05$ erfordert, und um 400 malige Ver-

grölserung bei gleicher Deutlichkeit und Lichtstärke zu erhalten, hätte des Objectivs Brennweite 400 Fuſs seyn müssen, wozu denn eine Oeffnung von 11 Zoll und Brennweite des Oculars = 12 Zoll gehört hätte. Um die Vergleichung zwischen diesem ungeheuern Fernrohr von 400 Fuſs Länge und dem 16 fuſsigen Fraunhofer'schen zu vollenden, müſste man nun doch noch die Betrachtung, daſs jenes immer noch einige Fehler wegen der Farbenzerstreuung behielt, hinzufügen[1].

15. Die Frage, wie man das Fernrohr für nähere Gegenstände oder wie man es für kurzsichtige Augen stellen muſs, läſst sich hier fast eben so, wie in No. 9. beantworten. Das Bild eines nähern Gegenstandes liegt weiter nach v zu, als der Brennpunct a des Objectivs, und das Augenglas GH muſs also etwas weiter vom Objective entfernt werden, damit der Brennpunct des Oculars mit dem Bilde zusammenfalle. Sieht ein Kurzsichtiger durch das Fernrohr, so verlangt er die hervorgehenden Strahlen vo nicht unter sich parallel, sondern etwas divergirend, er muſs daher das Ocular dem Objective etwas näher bringen. Um diese Stellung des Augenglases zu erhalten, um sie so, wie jedes Auge es fordert, zu berichtigen, haben die stark vergröſsernden Fernröhre eine Stellschraube, mit der man sehr feine Aenderungen hervorbringt; denn bei kleinen Brennweiten des Oculars bedarf es nur unbedeutender Aenderungen, um das Fernrohr jedem Auge angemessen zu machen.

Fig. 80.

16. Als eine besondere Art der astronomischen Fernröhre sieht man die **Kometensucher**, oder **Nachtfernröhre** an (*telescopia nocturna*; lunettes de nuit; *night-telescopes*, auch wohl *kits-eyes*, Katzen-Augen genannt). Ihre Bestimmung ist Gegenstände, die wenig Licht haben und deren Ort man nicht genau kennt, aufzusuchen, z. B. am Himmel die Kometen, kleine Sterne oder Nebelflecke, auf der Erde bei Nacht Gegenstände, die wenig erleuchtet sind, z. B. Schiffe, oder Gegenstände am Ufer, wenn die Schiffer sich ihrer bedienen. Um dieses Zweckes willen, bedürfen sie einer groſsen Lichtstärke, um schwach leuchtende Gegenstände kenntlich zu machen, und eines groſsen Gesichtsfeldes. Beides erhält man,

---

1 Die von Huygens berechnete Tafel für Brennweite, Apertur und Vergröſserung s. bei Smith Lehrb. d. Optik. p. 193. und eine von Tob. Mayer berechnete Tafel in Klügel's Dioptrik. S. 179.

wenn man dem Objective bei mäfsiger Brennweite eine bedeutende Oeffnung giebt; denn selbst ein einfaches Ocular von bestimmtem Durchmesser giebt ja das Gesichtsbild desto gröfser, je kleiner die Brennweite beider Gläser ist. Die Vergröfserung kann dann nicht so erheblich werden, aber dieses ist auch bei den Gegenständen, die der Schiffer auf dem Meere wahrnehmen will, gar nicht nothwendig, und beim Kometensucher kann man eher auf Vergröfserung als auf Lichtstärke Verzicht leisten. In den Formeln (No. 13.) würde z. B. bei 10maliger Vergröfserung, $\frac{f}{f} = 10$, die Lichtstärke die vierfache seyn, wenn $h = 20 \cdot a$, der Durchmesser des Objectivs 3 Zoll wäre. Die Fraunhofer'schen Kometensucher von 34 Linien Objectiv-Oeffnung haben bei 24 Zoll Brennweite und 10maliger Vergröfserung ein Gesichtsfeld von 6 Graden Durchmesser. Bei so sehr grofsem Gesichtsfelde bemerkt man zwar schon, dafs am Rande die Gegenstände nicht vollkommen deutlich erscheinen; aber da es hier nur darauf ankömmt, die Gegenstände zu bemerken, die man dann, theils indem man sie in die Mitte des Gesichtsfeldes bringt, theils indem man ein anderes Fernrohr zu Hülfe nimmt, genauer beobachten kann, so ist dieses kein wesentlicher Fehler.

Das Erdfernrohr.

17. Da es uns bei Gegenständen auf der Erde unangenehm und störend ist, wenn sie in umgekehrter Stellung erscheinen, so ist der Zweck des Erdfernrohrs, (*telescopium terrestre*) die vergröfsert erscheinenden Gegenstände zugleich in aufrechter Stellung zu zeigen.

Ehe ich die von de Rheita angegebene, zu diesem Zwecke in Gebrauch gekommene, Einrichtung beschreibe[1], will ich die Frage beantworten, warum die einfacher scheinende Einrichtung, wo das Fernrohr nur aus drei Gläsern besteht, nicht so zweckmäfsig ist.

Käme es allein darauf an, die umgekehrte Erscheinung des Bildes in eine aufrechte zu verwandeln, so könnte man dieses durch zwei im Ocular-Einsatze (*tubus ocularis*;

---

1 Einige andere Vorschläge, die minder brauchbar sind, erwähnt Montucla II. 236.

Fig. 8. tuyau oculair; *eye-piece)* befindliche Convexgläser bewirken. Es sey A das Objectiv, B das durch dieses hervorgebrachte Bild, C sey ein convexes Glas, in der Entfernung $BC=b$, die gröſser als die Brennweite ist, von dem Bilde aufgestellt, so bringt dieses in D ein umgekehrtes Bild von B, also ein aufrechtes Bild des beobachteten Gegenstandes hervor und dieses kann durch das Augenglas E bequem betrachtet werden, wenn DE die Brennweite des letztern ist. Ein Auge vor E stehend, sieht also den Gegenstand aufrecht. Ist das Auge kurzsichtig, so muſs es das Bild D dem Augenglase E etwas näher haben, und dies erhält es, wenn es den ganzen Ocular-Einsatz CE ein wenig hineinschiebt, indem dann BC kleiner, also CD etwas gröſser wird. Die ganze Länge des Fernrohrs würde hier $=f+b+\frac{bf'}{b-f'}+f''$ seyn, wenn f des Objectivs und f″ des letzten Oculars Brennweite wäre, f′ aber des Glases C Brennweite.

Die *Vergröſserung* dieses Fernrohrs läſst sich leicht bestimmen. Heiſst nämlich der natürliche Sehewinkel $\varphi=BAG$, so ist $BG=f.\varphi$; das Bild DH ist $=\frac{\beta}{b}BG=\frac{\beta f\varphi}{b}$, wenn $BC=b$, $CD=\beta=\frac{bf'}{b-f'}$ ist, und dieses erscheint dem durch E sehenden Auge unter dem Sehewinkel $=\frac{DH}{f''}=\frac{\beta}{b}\cdot\frac{f}{f''}\varphi$, so daſs die Vergröſserung $=\frac{f'}{b-f'}\cdot\frac{f}{f''}$ ist. Damit das Fernrohr nicht allzulang werde, müſste man $b=\beta=2f'$, annehmen, wo dann, wenn man auch $f'=f''$ setzt, die Vergröſserung $=\frac{f}{f'}$ wird.

Die *Gröſse des Gesichtsfeldes* fände man wieder indem man den unter dem Winkel $=\varphi$ gegen die Axe geneigten, durch die Mitte des Objectivs gehenden und den Rand des Glases C treffenden Strahl verfolgt. Des Glases C Halbmesser sey $=h'$, so ist $\varphi=\frac{h'}{f+b}=\frac{h'}{f+2f''}$ die Grenze der Strahlen, welche das Glas C treffen. Die durch die Mitte des Objectivs gehenden Strahlen treffen alle die Axe wieder in P, wo $CP=\frac{(b+f)f'}{b+f-f'}=\frac{(2f''+f)f''}{f+f''}$ ist; und da $CE=3f''$ ist, an-

genommen, daſs $EP = 3f'' - \frac{(f + 2f'')}{f + f''} f''$ sey, so läſst sich leicht bestimmen, in welcher Entfernung vom Centro des Glases E die äuſsersten Strahlen vorbeigehen, indem diese $= h'' = \frac{h'.EP}{CP}$ wird. Um deutliche Bilder zu geben, darf man h'' nicht gröſser als höchstens $\frac{1}{4}$ f'' nehmen, wenn also z. B. $f = 20 f''$, die Vergröſserung 20 malig seyn soll, so würde

$$h' = \frac{h''.CP}{EP}$$

$$= \frac{1}{4} f'' \left(\frac{f + 2f''}{2f + f''}\right)$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{41} . f''$$

$= \frac{11}{82} f''$, und des Gesichtsfeldes Halbmesser $\varphi = \frac{11}{82} \cdot \frac{1}{22} = 0{,}006 = 20\frac{1}{2}'$, statt daſs ein astronomisches Fernrohr dessen Ocular den Halbmesser $= \frac{1}{4} f''$ hätte, bei 20 maliger Vergröſserung der Werth des $\varphi = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{21} = 41'$ gegeben hätte. Diese Verkleinerung des Gesichtsfeldes ist einer der Gründe, warum diese Einrichtung nicht brauchbar ist, ein anderer liegt in der Farbenzerstreuung der Oculare, die ich in der Folge erst erwähnen werde.

18. In beiden Hinsichten hat das von de Rheita angegebene, und noch immer als bequem anerkannte, Erdfernrohr mit 4 Gläsern einen Vorzug. Dieses ist als eine Zusammensetzung zweier astronomischer Fernröhre anzusehen, indem die vom Objective ED aufgefangenen Strahlen in ab ein Bild hervorbringen, dann in dem Glase GH, welches in a seinen Brennpunct hat, so gebrochen werden, daſs die von jedem einzelnen Puncte des Gegenstandes kommenden Strahlen parallel ausfahrend das Glas IK treffen, in $\alpha\beta$ ein neues, offenbar aufrechtes Bild des Gegenstendes darstellen und endlich durch LM gebrochen als parallele Strahlen zum Auge O gelangen, wenn α beider Gläser IK und LM Brennpunct ist. Daſs das Auge in O den Gegenstand aufrecht sieht, daſs ein fernsichtiges Auge ihn auch deutlich sieht, erhellet leicht; die übrigen Umstände will ich jetzt näher betrachten.

Fig. 34.

Aus dem Vorigen ist klar, dafs $a C b = \varphi$ der Sehewinkel ist, unter welchem der Gegenstand, dessen Bild $a b$ darstellt, dem blofsen Auge in C, also auch, da des Gegenstandes Entfernung so sehr grofs ist, in O erscheint. Es ist aber $a b = f . \varphi$. und offenbar $a V b = \frac{f . \varphi .}{f'} = \alpha W \beta$, also $\alpha \beta = \frac{f'' . f \varphi}{f'}$, und endlich $\alpha z \beta = \frac{f''}{f'''} . \frac{f}{f'} . \varphi$, wenn f, f', f'', f''' die Brennweite der auf einander folgenden Gläser sind. Die *Vergröfserung* ist also $= \frac{f . f''}{f' . f'''}$ die Länge des Fernrohrs $= f + f' + VW + f'' + f'''$, wo VW willkürlich ist.

19. Um die Gröfse des *Gesichtsfeldes* zu bestimmen, müssen wir wieder die Strahlen verfolgen, welche durch die Mitte des Objectivs gehend den Rand des ersten Oculars treffen. Als Beispiel sey, wie Smith es fordert[1], $VW = f' + f''$ und über das $f' = f''$, so schneiden die sämmtlichen durch den Punct C gehenden Strahlen die Axe in P da, wo $VP = \frac{(f + f')f'}{f} = f' + \frac{f' f'}{f}$ ist. War nun $VH = h'$, so mufs des zweiten Oculars Halbmesser $W l = h''$ so grofs seyn, dafs der letzte durch H gehende Strahl auch dieses Ocular noch trifft, also $h'' = \frac{h' . WP}{VP}$

$$= \frac{h'(f - f')}{(f + f')}.$$

Die Strahlen, welche von P ausgehend das zweite Ocular treffen, kommen wieder in p' in der Axe zusammen, und es ist $W p' = \frac{WP . f'}{WP - f'} = f - f'$. Da nun Z nicht so weit hinausliegt, dafs p' diesseits Z fallen könnte, so findet man den Halbmesser $ZM = h'''$ des letzten Augenglases, indem man

$$h''' : h'' = Z p' : W p', \text{ oder}$$

$$h''' = h'' . \frac{f - 2f' - f'''}{f - f'} \text{ setzt.}$$

Hat also das letzte Ocular einen angemessenen Halbmesser $= h''' = \mu f'''$, der nämlich so grofs ist, als die Deutlichkeit es verstattet, so wird

---

1 Lehrbegriff. S. 36.

$$h'' = \frac{\mu f''.(f-f')}{f-2f'-f'''} \text{ und}$$

$$h' = \frac{h''(f+f')}{f-f'} = \frac{\mu f''.(f+f')}{f-2f'-f'''}.$$

So grofs nämlich mufs h' seyn, um alle die Lichtstrahlen aufzunehmen, die man auf dem letzten Augenglase mit Vortheil gebrauchen kann. Und hier würde h' den Werth $\mu f'$ nicht übertreffen, wenn f'' etwas kleiner als f' wäre; hätte man z. B. $f'' = \frac{f'(f-2f')}{f+2f'}$, so hätte auch das erste Objectiv diejenige angemessene Gröfse, wobei noch keine Undeutlichkeit entsteht; aber wenn auch $f''' = f'$ wäre, so würde doch $\frac{\mu(f+f')}{f-3f'}$ den Werth von μ nicht so sehr bedeutend übertreffen, wenn f, wie allemal der Fall ist, ziemlich grofs gegen f' ist.

Wenn f''' kleiner als f', so ist im Erdfernrohr die Vergröfserung etwas stärker als in demjenigen astronomischen Fernrohre dessen zwei Gläser die Brennweite f und f' hätten, das Gesichtsfeld wäre aber eben so grofs, indem sein Halbmesser $= \varphi = \frac{h'}{f+f'}$ ist, sobald h'' und h''' die angegebenen Gröfsen bekommen.

20. Nach L. Euler's und Klügel's Bestimmung ist indefs diese Einrichtung noch nicht die vollkommenste, sondern, da der Abstand des ersten Oculars vom zweiten ganz willkürlich ist, so kann man diesen $= g$ noch besser zu bestimmen suchen. Der Vereinigungspunct der durch die Mitte des Objectivs einfallenden Strahlen liegt wieder so, dafs

$$VP = \frac{(f+f')f'}{f} \text{ ist, also}$$

$$WP = g - f' - \frac{f'f'}{f};$$

daraus würde $Wp' = \frac{\left(g - f' - \frac{f'f'}{f}\right)f'}{g - 2f' - \frac{f'f'}{f}}$,

oder $Wp' = \left(\frac{gf - f'f - f'f'}{gf - 2f'f - f'f'}\right)f'$ folgen, wenn des zweiten Oculars Brennweite $= f'$ ist, und da offenbar p' nicht gut zwi-

schen W und Z liegen kann, so ist

$$h'' = \frac{h'''.Wp'}{Zp'} = \frac{h'''(g.ff' - f.f'^2 - f'^3}{ff'^2 - gff''' + 2ff'f''' - f'^2f'''}.$$

Soll also hier $h''' = \mu f'''$ und $h'' = \mu f'$ seyn, so würde g aus der Gleichung $f'(f.f'^2 - gff''' + 2ff'f'' - f'^2f''') = f'''(gff' - f.f'^2 - f'^3)$ bestimmt, also $g = \frac{f'^2}{2f'''} + \frac{3}{2}f'$;

daraus aber folgt $WP = \frac{1}{2}f' - \frac{f'^2}{f} + \frac{f'^2}{2f'''}$, und

$$h' = \frac{h''.VP}{WP} = \frac{\mu f'.f'f'''(f+f')}{\frac{1}{2}ff'f'' - f'^2f''' + \frac{1}{2}f'^2f}.$$

Es läſst sich leicht übersehen, daſs hier h′ leicht kleiner als $\mu f'$ zu erhalten ist, wenn man $f''' < f'$ nimmt. Es sey z. B. wie Klügel aus andern Gründen annimmt[1],

$$f''' = \frac{2}{5}f',$$

$$\text{also } g = \frac{11}{4}f'$$

$$WP = \frac{7}{4}f' - \frac{f'^2}{f};$$

$h' = \mu . f'.\frac{2}{5}\;\frac{(f+f')}{\frac{7}{10}f - f'}$, welches z. B. für $f = 20f'$

$h' = \mu . f'.\frac{2}{5}.\frac{21}{13} = \frac{42}{65}\mu f'$ giebt.

Hier würde $\varphi = \frac{42.\mu}{65.21}$, den Halbmesser des Gesichtsfeldes angeben, weil $f + f' = 21f'$ ist, und eben dieser Halbmesser des Gesichtsfeldes wäre $= \frac{\mu f'''}{f+f'''} = \mu\frac{2}{102} = \frac{1}{51}\mu$ geworden, wenn man aus den beiden Gläsern, deren Brennweite $= 20f'$ und $= \frac{2}{5}f'$ sind, ein astronomisches Fernrohr zusammengesetzt hätte. Ein Vortheil, der in Hinsicht auf den farbigen Rand erreicht wird, soll in der Folge erwähnt werden.

21. Man kann auch dem Erdfernrohre vier Oculare geben, und da dieses eine sehr gewöhnliche Einrichtung ist, so will ich wenigstens Einiges von den Anordnungen der Oculare, die hier möglich sind, angeben. Das erste Ocular steht

---

1 Dioptrik §. 470. 471. wo er Euler's Regeln folgt.

zwischen dem Objective und dem vom Objective hervorgebrachten Bilde[1], dann bringen die beiden ersten Oculare zusammen eben die Wirkung, wie in dem astronomischen Fernrohre mit zwei Ocularen, hervor, und wenn das durch das erste Ocular dargestellte wirkliche Bild genau in den Brennpunct des zweiten Oculars fällt, so gehen dann die Lichtstrahlen parallel vom zweiten zum dritten Oculare über, vereinigen sich im Brennpuncte des dritten Oculars, der mit dem des vierten zusammenfällt, und kommen durch das vierte parallel in das Auge. Aber nicht immer ist die Anordnung so, dafs die Strahlen aus dem zweiten Oculare parallel hervorgehen, sondern sie könnten auch nach einem ziemlich entfernten Puncte convergirend seyn; dann würde diese Convergenz durch das dritte Glas stark vermehrt und ein Bild dargestellt, welches sich allemal im Brennpuncte des vierten Glases befinden mufs. Ob das eine oder das andere in einem gegebenen Fernrohre statt findet, kann man leicht so untersuchen. Man nehme den Ocular-Einsatz heraus, und lasse darin nur das dritte und vierte Ocular an ihren richtigen Stellen; durch diese sehe man nach einem entfernten Gegenstande und gebe Achtung, ob man ihn deutlich (wenn auch nicht vergröfsert) erkennt; ist das der Fall, so stehen diese beiden Oculare so, wie es parallelen auf das dritte Ocular fallenden Strahlen angemessen ist. Sieht man aber die Gegenstände nicht deutlich, sondern mufs man das eine Ocular herausnehmen und entfernter von dem andern halten, so waren die auf das dritte Ocular auffallenden Strahlen im Fernrohr convergirend. Wäre z. B. des Objectivs Brennweite 19 Zoll und befände sich das erste Ocular von $1\frac{3}{8}$ Zoll Brennweite nur 18 Zoll von jenem entfernt, so läge das erste wirklich entstehende Bild um den

$$\text{Abstand} = \frac{1\frac{3}{8} \cdot 1}{1\frac{3}{8} + 1} = \frac{11}{19} \text{ Zolle hinter dem ersten Oculare,}$$

dafür will ich 7 Linien setzen. Das zweite Ocular stehe um 21 Linien von dem ersten ab, und seine Brennweite sey = 18 Linien, so würde dieses zweite Ocular ein neues Bild

---

1 Dieselbe Anordnung findet sich in Fig. 31. dargestellt.

in der Entfernung $= \frac{14 \cdot 18}{18 - 14} = 63$ Linien bilden, wenn nicht 35 Linien hinter dem zweiten Ocular sich das dritte befände. Des eben bestimmten Bildes Abstand vom dritten würde also 28 Linien betragen, und wenn dieses 23 Linien Brennweite hat, so kommt das Bild auf $\frac{28 \cdot 23}{28 + 23} = 12\frac{3}{5}$ Linien zurück, und wenn das letzte Ocular die Brennweite $= 12$ hätte, so würde die Vergröſserung 21fach seyn.

Das achromatische Fernrohr.

22. Obgleich die vollständige Beantwortung der Frage, wie ein Linsenglas zusammengesetzt seyn muſs, um ganz farbenfrei zu seyn, in dem Artikel: *Linsenglas*, abgehandelt werden wird: so muſs ich doch hier die Hauptbetrachtungen, worauf jene Untersuchung ankommt, erwähnen.

Fig. 85. Wenn auf ein convexes Glas C parallele Strahlen fallen, so würden diese in A ein völlig bestimmtes, in einen einzigen Punct vereinigtes Bild eines vor dem Glase liegenden leuchtenden Punctes darstellen, wenn alle Farbenstrahlen einerlei Brechung erlitten. Durch das hinter jenem angebrachte hohle Glas D, das hier von anderer Glasart ist, wird der Vereinigungspunct weiter entfernt und B würde der Ort des Bildes seyn. Da wir aber hier auf die verschiedene Brechbarkeit der Lichtstrahlen zu sehen haben: so werden wir sagen müssen, in A würde das violette, in a das rothe Bild durch das Convexglas hervorgebracht, und beide werden nach B, b, durch das zwischengestellte Concavglas hinausgerückt. Hier entsteht nun die Frage, ob nicht die ungleiche Farbenzerstreuung der Gläser so seyn könnte, daſs B und b in einen Punct zusammen fielen. Da B bei gleicher Gestalt des Concavglases desto weiter von A entfernt liegt, je stärker die violetten Strahlen im zweiten Glase gebrochen werden, und da b desto näher an a rückt, je weniger in demselben die rothen Strahlen gebrochen werden: so muſs das zweite, hohle Glas die stärkere Farbenzerstreuung haben. Es sey μ für die rothen, ν für die violetten Strahlen im ersten Glase, und μ' für die rothen, ν' für die violetten Strahlen im zweiten Glase das Brechungsverhältniſs: so würden

$$f = \frac{r \cdot \varrho}{(\mu - 1)(r + \quad} \text{ und } F = \frac{r \cdot \varrho}{(\nu - 1)(r + \varrho)}$$

die Brennweiten des convexen Glases für die rothen und violetten Strahlen seyn. Jene fallen, wie wir beide Gläser als um die Entfernung $= g$ von einander entfernt annehmen, so auf das Concavglas, dafs ihr Sammelpunct um $f - g$ hinter dem Glase läge, also in No. 5. $b = -(f-g)$ ist; setze ich zugleich r' und ϱ' als Radien der Kugelflächen negativ bei dem Concavglase, so wäre die Vereinigungsweite

$$= \frac{-(f-g)\, r'\varrho'}{(\mu'-1)(f-g)(r'+\varrho')-r'\varrho'}$$ für die rothen Strahlen, und für die violetten Strahlen

$$= \frac{-(F-g)\, r'.\varrho'}{(\nu'-1)(F-g)(r'+\varrho')-r'\varrho'}.$$ Diese Entfernungen müssen gleich seyn. Da aber μ und ν wenig verschieden sind, so kann ich $\nu = \mu + d\mu$; $F = f + df$ setzen und erhalte demnach

$$f + df = \frac{r.\varrho}{r+\varrho}\left(\frac{1}{\mu-1} - \frac{d\mu}{(\mu-1)^2}\right),$$ und wenn ich statt

$$\frac{-(F-g)\, r'\varrho'}{(\nu'-1)(F-g)(r'+\varrho')-r'\varrho'},$$ setze

$$\frac{-(f-g+df)\,(r'\varrho')}{(\mu'-1+d\mu')(f-g+df)(r'+\varrho')-r'\varrho'},$$ so wird dieses offenbar

$$= \frac{-(f-g)\, r'\varrho'}{(\mu'-1)(f-g)(r'+\varrho')-r'\varrho'} + \frac{df.r'^2\varrho'^2 + d\mu'(f-g)^2\, r'\varrho'\,(r'+\varrho')}{\{(\mu'-1)(f-g)(r'+\varrho')-r'\varrho'\}^2}.$$

Hier mufs das letzte Glied verschwinden, also vermöge des Werthes von df, $\frac{d\mu.\, rr'^2.\varrho\varrho'^2}{(r+\varrho)(\mu-1)^2} = d\mu'\,(f-g)^2\, r'\,\varrho'\,(r'+\varrho')$ seyn. Wäre g gegen f so klein, dafs man es weglassen könnte, so würde vermöge des Werthes von f

$$\frac{d\mu\,(r+\varrho)}{r\varrho} = \frac{d\mu'\,(r'+\varrho')}{r'\varrho'}$$

oder $$\frac{d\mu}{(\mu-1)f} = \frac{d\mu'}{(\mu'-1)f'},$$

wenn f' die Entfernung des imaginären Brennpuncts für das Concavglas ist.

Hieraus könnte also, bei gegebenem Brechungsverhältnisse für die rothen und violetten Strahlen, die Brennweite f' des einen Glases so bestimmt werden, dafs zwei verschiedenfarbige Strahlen sich genau in einem Puncte vereinigten. Es sey z. B.

für Kronglas $\mu = 1{,}527$, $d\mu = 0{,}0105$; für Flintenglas $\mu' = 1{,}631$, $d\mu' = 0{,}0213$, so würde für $f = 60$ Zoll, $f' = 101$ Z. Die Brennweite der aus beiden Gläsern zusammengesetzten Linse würde $= \frac{+60 \cdot 101}{51} = 119$ Zoll. Man müfste also dem Convexglase eine nur etwa halb so grofse Brennweite geben, als das zusammengesetzte Glas haben soll.

Diese Bestimmung wird nun zwar wesentlich anders, wenn man auf den Abstand der beiden Gläser von einander Rücksicht nimmt; aber auch dann, vorzüglich wenn man die Abweichung wegen der Gestalt gröfstentheils zu heben sucht, tritt die Unannehmlichkeit ein, dafs man den sphärischen Oberflächen kleinere Halbmesser geben mufs, als es in Beziehung auf eine möglichst grofs zu erhaltende Oeffnung wünschenswerth wäre. Um dies zu vermeiden, hat man es als vortheilhafter angesehen, das Objectiv aus drei Linsen zusammen zu setzen, nämlich zwei convexen und einer concaven, wo dann die beiden Convexgläser eine gröfsere Brennweite erhalten, als die Entfernung des Zerstreuungspunctes der Concavlinse ist.

Indefs sind auch die Rücksichten, die man auf die Vereinigung der ungleich farbigen Strahlen zu nehmen hat, schon an sich nicht so einfach, als ich sie hier dargestellt habe. Wenn man die äufsersten Farbenstrahlen, die rothen und violetten, auch aufs beste vereinigt, so sind dadurch nicht auch die mittlern Strahlen genau in demselben Puncte vereinigt. Hätte man im vorigen Beispiele die rothen Strahlen mit den grünen, für welche $d\mu = 0{,}0065$, $d\mu' = 0{,}0128$ ist, genau vereinigen wollen, so würde zu $f = 60$, $f' = 99$ gehören, und ein Concavglas von 101 Zoll Zerstreuungsweite würde die mittlern Strahlen keineswegs genau mit den rothen und violetten vereinigen.

23. Da ich die weitere Ausführung dieses Gegenstandes dem Artikel *Linsengläser, achromatische*, vorbehalte, so will ich hier nur noch kurz einige Hauptrücksichten, die man bei der Brechung genommen hat, und einige Vorschläge über die anzuwendenden Körper anführen. Ein gutes zusammengesetztes Objectiv soll so beschaffen seyn, dafs zugleich die *Abweichung wegen der Kugelgestalt* und wegen der *Farbenzerstreuung* möglichst gehoben werde. Dieses zu erreichen, hat man verschiedene Anordnungen vorgeschlagen, unter denen die von Klügel: dafs man die Krümmungen der Gläser möglichst klein

nehmen solle, lange Zeit vorzüglich beachtet worden ist. Aber KLÜGEL selbst fand später, daſs das von ihm vorgeschlagene Objectiv noch sehr erhebliche Abweichungen für die Strahlen gebe, die nicht nahe bei der Axe einfallen. Er änderte daher seine Vorschläge dahin ab, daſs man die Halbmesser der beiden Oberflächen der vorderen, convexen Linse so wählen solle, daſs die Brechung an beiden ziemlich gleich sey, indem dadurch die Winkelabweichungen der Randstrahlen auf beiden Seiten zusammen genommen, ein Kleinstes werden. Die Abweichung der Randstrahlen bei der ersten Linse müsse dann bei der dritten Brechung völlig gehoben werden, und die vierte Fläche müsse so gewählt werden, daſs sie die Zerstreuung der ungleich farbigen Strahlen aufhebe, und man erhalte so Bestimmungen für alle vier Radien[1].

Zu diesen Vorschlägen haben BOHNENBERGER und GAUSS einige wichtige Bemerkungen hinzugefügt. GAUSS bemerkt nämlich, daſs KLÜGEL's Gründe für die Wahl der beiden ersten Halbmesser vorzüglich auf den Zweck, die Abweichung wegen der Gestalt zu heben, hinausgehen; aber es erhelle nicht ganz, daſs dieses auf die angegebene Weise am besten geschehe, und es scheine auch ungewiſs, ob nicht die übrigen Unvollkommenheiten noch wichtiger wären. Er billigt daher BOHNENBERGER's Vorschlag, die uns frei gelassene Wahl der beiden Halbmesser des ersten Glases zur Wegschaffung der Farbenzerstreuung bei den Randstrahlen zu benutzen, und empfiehlt dieses um so mehr, da BOHNENBERGER's Rechnung zeige, daſs die Abweichung wegen der Gestalt darum doch nicht erheblich zunehme. Aber GAUSS bemerkt, daſs sich noch mehr erhalten lasse, es sey nämlich möglich, alle Strahlen von zwei bestimmten Farben, sowohl die nahe bei der Axe, als die in einer bestimmten Entfernung von der Axe auffallenden mit ihr parallelen Strahlen in einen einzigen Punct zu vereinigen; dann aber müssen beide Linsen convex-concav werden und die convexe Seite dem Gegenstande zukehren; dabei kommen zwar gröſsere Brechungen vor, aber die Vereinigung aller mit der Axe parallel einfallenden Strahlen wird vollkommener, als bei irgend einer andern Einrichtung[2].

---

1 Gilb. XXXIV. 265.

2 Astron. Zeitschrift von v. Lindenau und v. Bohnenberger. I. 385. IV. 345. Gilb. LIX. 188.

Neben diesen, in der Ausübung zwar noch nicht erprobten, aber sehr wichtig scheinenden Bemerkungen, verdient endlich auch FRAUNHOFER's Vorschrift hier erwähnt zu werden. Er bemerkt unstreitig mit Recht, daſs die Nachtheile, die aus den verschiedenen, nicht ganz vereinigten Farbenstrahlen entstehen, desto bedeutender seyn müssen, je lichtvoller diese Strahlen selbst sind; man müsse daher statt des Verhältnisses der Zerstreuung für bestimmte, z. B. die äuſsersten Strahlen, dasjenige in die Rechnung bringen, welches der Einwirkung der sämmtlichen Strahlen am angemessensten sey. Ich werde hierauf im Art. *Linsengläser* zurück kommen[1].

Endlich will ich hier noch BLAIR's *aplanatische* Fernröhre erwähnen[2]. Die groſse Farbenzerstreuung in einigen flüssigen Körpern brachte ihn auf den Versuch, die Stelle des concaven Glases durch einen zwischen zwei convexe Gläser eingeschlossenen flüssigen Körper zu ersetzen. Concentrirte Spieſsglanzbutter, welche ungemein groſse Farbenzerstreuung gewährt, gab ein farbenloses, aber wegen ihrer ungleichen Dichtigkeit doch streifiges und unbrauchbares Bild der Gegenstände. Bei Versuchen mit andern Flüssigkeiten fand BLAIR, daſs dieses nicht die einzige und nicht die bedeutendste Schwierigkeit sey, sondern die schon erwähnte Ungleichheit in der Farbenzerstreuung, vermöge welcher nicht allemal die mittlern Strahlen eben so von den rothen und violetten im einen Körper wie im andern abweichen, zeigte, daſs auch auf diese Weise der Zweck, völlig farbenlose Fernröhre zu erhalten, nicht zu erreichen sey. FRAUNHOFER führt noch einen neuen Grund gegen den Gebrauch flüssiger Körper statt der einen Glaslinse an, nämlich, daſs sie bei den geringsten Veränderungen der Temperatur einen Mangel an Homogeneität zeigen und daher undeutliche Bilder machen.

24. An die eben angestellte Untersuchung schlieſst sich die schon von D'ALEMBERT aufgeworfene Frage an, ob man nicht mit einem einfachen Objective und einem einfachen, aber concaven Oculare, welches aus einer stärker zerstreuenden Materie verfertigt wäre, die Farbenzerstreuung aufheben könne. Um das zu thun, müſste das Augenglas so gewählt werden

---

1 FRAUNHOFER über Brechung und Farbenzerstreuung verschiedener Glasarten in den Schriften der Münchner Gesellschaft.

2 Gilb. Ann. VI. 129. Transact. of the Edinb. Soc. Vol. 2.

können, dafs sein Zerstreuungspunct für die violetten Strahlen genau so weit von dem Zerstreuungspuncte der rothen Strahlen entfernt läge, als der Brennpunct der rothen Strahlen des Objectivs von dem Brennpuncte der violetten Strahlen desselben. Aber hier liegt offenbar eine grofse Schwierigkeit darin, dafs man bei der kleinen Entfernung des Zerstreuungspunctes für das Ocular eine eben so grofse Differenz, als bei der grofsen Entfernung des Brennpunctes für das Objectiv verlangt, und doch jene klein, diese grofs fordern mufs, um eine erhebliche Vergröfserung zu bewirken. Diese Schwierigkeit ist Ursache, dafs man von einer solchen Anordnung nie Gebrauch gemacht hat, aber BREWSTER hat gezeigt, dafs ihre Anwendung nicht ganz unmöglich wäre.

Es sey $f = \frac{r\varrho}{(\mu - 1)(r + \varrho)}$ die Brennweite des Objectivs für die rothen Strahlen,

$$f - df = \frac{r\varrho}{(\mu - 1)(r + \varrho)} - \frac{r.\varrho.d\mu}{(\mu - 1)^2(r + \varrho)}$$

für die violetten Strahlen; und eben so sey für das Ocular

$$f' = \frac{-r'\varrho'}{(\mu' - 1)(r' + \varrho')} \text{ jenen, und}$$

$$f' + df' = \frac{-r'\varrho'}{(\mu' - 1)(r' + \varrho')} + \frac{r'\varrho' d\mu'}{(\mu' - 1)^2(r' + \varrho')}$$

diesen angemessen, also da

$df = df'$ seyn mufs

$$\frac{f.d\mu}{(\mu - 1)} = \frac{f' d\mu'}{(\mu' - 1)}.$$

Wollte man ein solches Fernrohr mit einem Objective von Kronglas, wo $\frac{d\mu}{\mu - 1} = 0{,}02$, und einem Oculare von Flintglas, wo $\frac{d\mu'}{\mu - 1} = 0{,}034$ ausführen, so wäre $f' = \frac{10}{17}$ f und die Vergröfserung nur 1,7 fach, also höchst schwach. Aber wenn man sich zum Objective des Bergkrystalls bedienen, und statt des Augenglases eine hohle, mit Cassia-Oel gefüllte Linse anwenden wollte, so hätte man

$$\mu = 1{,}562, \quad d\mu = 0{,}014,$$
$$\mu' = 1{,}641, \quad d\mu' = 0{,}089$$

und $f' = \frac{25}{139}$ f, die Vergröfserung = 5,6. Eine solche Ver-

grösserung könnte für Taschenfernröhre und Nachtfernröhre ausreichen, indess wäre noch zu untersuchen, ob die so zusammengesetzte Ocularlinse nicht einen grossen Lichtverlust gäbe, wie es freilich die aus zweierlei Glasarten zusammengesetzte Objectivlinse auch thut[1].

26. Eine andere wichtige Frage, deren Beantwortung nothwendig hierher gehört, ist die, ob man mit Hülfe mehrerer Oculare etwas thun könne, um die Farbenränder aufzuheben, die durch die Oculare selbst hervorgebracht werden.

Wenn gleich das Objectiv achromatisch ist und also von *einem* Puncte ausgehende Lichtstrahlen, auch ganz genau in *einem* Puncte des Bildes vereinigt werden, so kann doch dieses Bild in Beziehung auf ein einfaches Ocular nicht zugleich in dem den rothen und in dem den violetten Strahlen entsprechenden Brennpuncte des Oculars liegen, und wenn es da liegt, wo der Brennpunct der mittlern Strahlen sich befindet, so geben die äussersten ein gefärbtes Nebenbild. Sehen wir hier zuerst auf einen Punct in der Axe, so kann bei diesem wohl einige Undeutlichkeit, aber keine Färbung statt finden; denn indem die gelben und grünen Strahlen das Auge parallel treffen, die rothen ein wenig divergirend, die violetten ein wenig convergirend auf das Auge fallen, so bringen diese letzteren zwar eine Undeutlichkeit hervor, indem sie, ziemlich so wie oben durch Figur 32. erläutert ist, einen Kreis auf der Retina darstellen; aber da dieser Kreis von zerstreuten rothen Strahlen eben so gut, als von zerstreuten violetten Strahlen getroffen wird, so giebt er uns keine vorherschende Empfindung einer Farbe. Anders verhält es sich mit den Strahlen, welche von Puncten ausser der Axe zum Auge gelangen.

Fig. 36. Wir betrachten auch hier nur die durch die Mitte des Objectivs gehenden Hauptstrahlen, unter denen pC von einem gegen die Grenze des Gesichtsfeldes liegenden Puncte herkommen mag. Das Bild dieses Punctes liegt in f, aber unter den von ihm auf das Ocular gelangenden Strahlen wird nur EO, der Strahl, dessen Brechung die mittlere ist, das Auge O erreichen, die blauen und violetten Strahlen gehen nach Eo fort, und das Auge sieht etwas weiter von der Axe entfernt in der Richtung Oe parallel mit oE ein blaues Nebenbild. Hier ist offenbar

1 Brewster on new philos. Instruments p. 420. Gilb. L. 301.

EOe als Differential des Winkels ROE anzusehen, und da $RO = \frac{g f'}{g - f'}$ war, wenn $CR = g$ den Abstand beider Gläser von einander bezeichnet, und f' des Oculars Brennweite, so ist $ROE = \varphi \left(\frac{g}{f'} - 1\right)$, wenn φ den Winkel $SCp = FCf$ bedeutet. Hier ist φ unveränderlich und auch g ist es, wenn man die Stellung der Gläser nicht als abhängig von der Brennweite des Oculars ansieht; also $EOe = \frac{-g\varphi df'}{f'^2}$, und da $g\varphi$ gleich dem Halbmesser $= h'$ des Oculars für die am Rande des Oculars durchgehenden Strahlen ist, so kann man auch

$$ROE = \frac{h'}{f'} - \varphi \text{ und } EOe = d \cdot \frac{h'}{f'} \text{ setzen.}$$

Beim astronomischen Fernrohre mit *einem* Oculare ist $g = f + f'$, der Summe der Brennweiten beider Gläser gleich, daher $ROE = \frac{f\varphi}{f'}$ und $EOe = -\frac{f\varphi df'}{f'^2} = \frac{f\varphi}{f'} \cdot \frac{d\mu'}{(\mu' - 1)}$, weil $f' = \frac{r'\varrho'}{r' + \varrho'} \left(\frac{1}{\mu' - 1}\right)$ ist, die Abweichung ist also dem Abstande des gesehenen Punctes vom Mittelpuncte des Feldes proportional, und man kann deshalb es nöthig finden, das Gesichtsfeld zu beschränken, damit jene Abweichung nicht für die am Rande liegenden Gegenstände zu erheblich werde.

Um zu übersehen, woher der Lichtstrahl eO zum Auge kommt, muſs man überlegen, daſs nur die mittleren Strahlen EO parallel unter sich zum Auge gelangen, daſs dagegen die violetten, weil F weiter als der Brennpunct der violetten Strahlen von R entfernt liegt, ein Bild Hh darstellen würden; gegen den Punct h also convergiren diese Strahlen und p'cfe ist der Weg desjenigen Lichtstrahls, der in eO zum Auge kommt. Der leuchtende Punct, dessen Bild f ist, erscheint also vermöge seiner mittlern Strahlen dem Auge nach OE, vermöge seiner blauen Strahlen nach Oe, und zeigt sich also mit blauem Rande nach der äuſsern Seite des Gesichtsfeldes verlängert. Wäre es ein einzelner leuchtender Punct, so würde er auch nach der innern Seite des Gesichtsfeldes ein rothes Nebenbild zeigen; nimmt aber der helle Gegenstand, etwa wie der Mond, den ganzen mittlern Theil des Feldes ein, so hat er rund um sich einen blauen Rand, der desto merklicher ist, je näher die

Grenze, des leuchtenden Gegenstandes der Grenze des Gesichtsfeldes liegt.

27. Dieser blaue Rand kann durch ein zweites Ocular zwar verschlimmert, aber bei richtiger Stellung desselben auch verbessert werden. Es ist nämlich einleuchtend, dafs wenn ein zweites Augenglas die Vergröfserung vermehrt, es auch diesen Winkel E'Oe in eben dem Verhältnisse vergröfsern würde, wenn EO, eO gleichartige Strahlen wären, dafs aber nun entweder noch eine Vermehrung hinzukommen oder eine Verminderung statt finden kann, wegen der ungleichen Brechung, welche die verschiedenartigen Strahlen im zweiten Oculare leiden. Um diese Abweichung richtig zu beurtheilen, dient folgende Betrachtung. Der Lichtstrahl EO falle auf das zweite Ocular Gg und schneide wieder die Axe in O′, wo also nun das Auge seinen Platz einnehmen müfste, um alle durch die Mitte des Objectivs gehenden Strahlen zu erhalten. War hier $RCE = \varphi$, $CR = g$, $RE = h' = g \cdot \varphi$, so ist $ROE = \frac{g\varphi}{OR}$, oder

$ROE = \frac{\varphi(g - f')}{f'}$, und wenn $RG = K$ ist, $Cg = h'' = OG.ROE$

oder $h'' = \left(K - \frac{gf'}{g - f'}\right); \frac{\varphi}{f'}(g - f') = \frac{K\varphi(g - f')}{f'} - g\varphi$,

und $gO'G = \frac{\varphi(g - f')}{f'f''}\left(K - f'' - \frac{gf'}{g - f'}\right)$,

welches $= \frac{h''}{f''} - \frac{h'}{f'} + \varphi$ ist.

Offenbar wird hier die Abweichung für einen gegebenen Werth von φ durch $d.\frac{h''}{f''} - d.\frac{h'}{f'}$ bestimmt, aber h'' mufs dann so genommen werden, wie es der am Rande des ersten Oculars durchgehende Strahl fordert, und es ist nun offenbar, dafs da wo $d.\frac{h''}{f''} - d.\frac{h'}{f'} = 0$ wäre, sich die hier betrachtete farbige Erscheinung ganz aufheben würde.

Um diese Formel zu entwickeln, müssen wir sie mit den Hauptgröfsen, die bei den Gläsern vorkommen, in Verbindung zu setzen suchen; ich nenne also $g = f + l$, wo dann f des Objectivs Brennweite, l der Abstand des Bildes vor dem zweiten Glase ist, k dagegen wird $l' + f''$, wenn l' des nächsten Bildes

Abstand hinter dem zweiten Glase bezeichnet; denn dieses Bildes Abstand vom dritten Glase muſs der Brennweite des letztern gleich seyn. Dann ist $h' = \varphi\,(f+l)$, und h'' wird daraus gefunden, daſs der Vereinigungspunct der durch die Mitte des Objectivs gehenden Strahlen, und die Entfernung $= \frac{(f+l)\,f'}{f+l-f'}$, hinter dem zweiten und um $f'' + l' - \frac{(f+l)\,f'}{f+l-f'}$ vor dem dritten Glase liegt, die letztere aber ist wegen $l' = \frac{l\,f'}{l-f'}$, auch $= f'' + \frac{f\,f'^2}{(l-f')\,(f+l-f')}$. Da nämlich h' und h'' als rechtwinkliche Katheten zweien gleichen Winkeln gegenüberstehen, in Triangeln, deren andere Katheten die eben erwähnte Gröſse haben, so ist $\frac{h'\,(f+l-f')}{f'\,(f+l)} = \frac{h''}{f'' + \frac{f.\,f'^2}{(l-f')\,(f+l-f')}}$

oder $h'' = \left(\frac{h'}{f'} - \frac{h'}{f+l}\right)\left(f'' + \frac{f.\,f'^2}{(l-f')\,(f+l-f')}\right)$

oder $h'' = \frac{h'\,f''}{f'} - \varphi\,.\,f'' + \frac{\varphi\,.\,f\,f'}{l-f'}$, welches auch durch

$h'' = \frac{h'\,f''}{f'} - \varphi\,f'' + \frac{\varphi\,f\,l'}{l}$, ausgedrückt werden kann. Nach dem Vorigen soll nun, damit der farbige Rand verschwinde,

$$d.\frac{h''}{f''} = d.\frac{h'}{f'} \text{ seyn,}$$

und es ist $d.\frac{h''}{f''} = d.\left\{\frac{h'}{f'} - \varphi + \frac{\varphi\,f\,l'}{l\,f''}\right\}$.

Hier ist nun zwar bisher immer angenommen, daſs das letzte Bild in dem Brennpuncte des dritten Glases liege, aber da l' einen andern Werth hat für die violetten als für die mittlern Strahlen, so kann jene Voraussetzung nicht für alle Strahlen zugleich statt finden, und ich werde daher l'' statt f'' schreiben.

Die weitere Rechnung führe ich nach Klügel's Anleitung[1], obgleich das einfache Resultat billig auf einem einfachern Wege, den ich jedoch nicht auffinden kann, sollte gefunden werden. Um den Werth $d.\frac{h''}{f''} - d.\frac{h'}{f'}$ = der Abweichung,

1 Dioptrik §. 166.

richtig zu entwickeln, muſs man sich zuerst erinnern, daſs $h' = \varphi (f + l)$ ist, wo l negativ würde, wenn das zweite Glas schon vor dem Bilde stände; den Werth von h'' habe ich eben angegeben. Wenn man in dieser Formel auch f als veränderlich ansieht und bedenkt, daſs l sich um eben so viel vermindert, als f sich vergröſsert, oder $d f = - d l$, und eben so $d l'' = - d l'$ ist, so erhält man

$$d h'' = l''.d.\frac{h'}{f'} + d l' \left\{\varphi - \frac{h'}{f'} + \frac{\varphi f}{l}\right\} + d f \left\{\frac{f+l}{l^2}\right\} \varphi l';$$

Hier ist das Glied, welches d f enthält,

$$= \frac{h'.l'}{l^2} d f = - \frac{h' l'.d l}{l^2} \text{ oder}$$

$$= - h' l' \left\{\frac{d f'}{f'^2} - \frac{d l'}{l'^2}\right\},$$

weil $\frac{1}{l} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{l'}$ ist. Eben so ist der in $d l'$ multiplicirte Theil $= \varphi\left(\frac{f+l}{l}\right) - \frac{h'}{f'} = h''\left(\frac{1}{l} - \frac{1}{f'}\right)$, also endlich

$$d h'' = l''.d.\frac{h'}{f'} - \frac{h'}{f'}.\frac{l' d f'}{f'} + \frac{h' d l'}{l'} + \frac{h' d l'}{l} - \frac{h}{f'} d l';$$

hier ist aber das in $d l'$ Multiplicirte selbst $= 0$ und

$$d h'' = l''.d.\frac{h'}{f'} - \frac{h' l' d f'}{f'^2}.$$

Die gesammte Abweichung $= d.\frac{h''}{f''} - d.\frac{h'}{f'}$, läſst sich nun ausdrücken, und das um so leichter, da für die mittlern Strahlen, also nach vollendeter Differentiirung überall, $l'' = f''$ gesetzt werden darf, wonach $\frac{f'' d h'' - h'' d f''}{f''^2} - d.\frac{h'}{f'}$ übergeht in $d.\frac{h'}{f'} - d.\frac{h'}{f'} - \frac{h''}{f''}.\frac{d f''}{f''} - \frac{h'}{f'}.\frac{l'}{f''}.\frac{d f'}{f'}$, oder nach No. 25. in $\frac{h''}{f''}\left(\frac{d\mu''}{\mu''-1}\right) + \frac{h'}{f'}.\frac{l'}{f''}.\left(\frac{d\mu'}{\mu'-1}\right)$.

Dieses einfache Resultat ist nun genau das schon aus bloſser Ueberlegung hergeleitete. Die Abweichung der brechbarsten Strahlen betrug im ersten Ocular $\frac{h'}{f'}\left(\frac{d\mu'}{\mu'-1}\right)$ und diese kommt hier in dem Verhältniſs $\frac{l'}{f''}$ vergröſsert vor, weil jeder

Theil des Bildes, der durch das erste Glas unter einem gewissen Sehewinkel erschien, durch das zweite in eben dem Verhältnifs vergröfsert erscheint; aber nun kommt noch, additiv oder subtractiv, die Abweichung im zweiten Ocular hinzu, und ob das eine oder andere der Fall sey, richtet sich darnach, ob der Punct, wo die Hauptstrahlen sich durchkreuzen, zwischen beiden Ocularen oder jenseits liegt.

Ein Beispiel zu diesen Untersuchungen giebt das in No. 12. betrachtete astronomische Fernrohr mit zwei Ocularen. Dort war $l' = f''$, und da wir beide Oculare als aus einerlei Glasart gemacht, annehmen können, so ist $\frac{d\mu''}{\mu''-1} = \frac{d\mu'}{\mu'-1}$. Da ZO dort negativ war, so liegt O nicht zwischen beiden Ocularen, sondern jenseits und $\frac{h''}{f''} - \frac{h'}{f'} \cdot \frac{l'}{f''}$ könnte freilich für $l' = f''$ nicht ganz $= 0$ werden, aber in den dort berechneten Angaben ist $\frac{h''}{f''} = \frac{h'}{f'}\left(\frac{2f + 3f'}{2f - f'}\right)$ so wenig von $\frac{h'}{f'}$ verschieden, dafs der blaue Rand fast völlig aufgeboben wird. Hier erhellet nun auch, warum bei dem in No. 17. beschriebenen Fernrohre mit zwei wirklichen Bildern das Aufheben des blauen Randes nicht statt findet.

28. Wie die Abweichung bei drei Ocularen bestimmt wird, will ich nicht mit gleicher Umständlichkeit aufsuchen. Es erhellet, dafs die für zwei Gläser gefundene, in Verhältnifs der dem dritten Glase zugehörenden Vergröfserung vermehrt wird, und dann die Abweichung, welche dem dritten Glase allein angehört, hinzukommt. Die gesammte Abweichung bei drei Gläsern ist demnach, wenn l''' der Abstand des vom zweiten Ocular hervorgebrachten Bildes von diesem Glase und f''' eben des Bildes Abstand vom dritten Oculare bezeichnet,

$$= \frac{h'}{f'} \frac{l'}{l''} \cdot \frac{l'''}{f'''}\left(\frac{d\mu'}{\mu'-1}\right) + \frac{h''}{f''} \cdot \frac{l'''}{f'''}\left(\frac{d\mu''}{\mu''-1}\right) + \frac{h'''}{f'''}\left(\frac{d\mu'''}{\mu'''-1}\right),$$

und die Brüche $\frac{d\mu}{\mu-1}$ können für gleich angesehen werden, wenn man sich zu allen Ocularen derselben Glasart bedient.

Um zu prüfen, wiefern die Aufhebung der blauen Ränder bei denjenigen Abmessungen des gewöhnlichen Erdfernrohrs statt findet, die ich in No. 19. angegeben habe, müfste man,

wenn alle Oculare aus einerlei Glasart sind, die Abweichung für ein astronomisches Fernrohr, dessen Ocular aus eben der Glasart ist, berechnen, und diese Abweichung $= \frac{f\varphi}{f'}\left(\frac{d\mu}{\mu - 1}\right)$, als Vergleichungsmafs für die übrigen Anordnungen der Gläser gebrauchen. Bei dem in No. 19. betrachteten Erdfernrohre fällt das Bild, das hinter dem ersten Ocular entstehen sollte, ins Unendliche hinaus, und l' ist daher, so wie $l'' = \infty$ aber der Quotient $\frac{l'}{l''}$ ist $= -1$, weil l'' an die Seite fällt, wo es in dem von uns angenommenen Normalfalle nicht lag; aber auch h''' erhält das entgegengesetzte Zeichen, daher wird der Bruch $\frac{d\mu}{\mu - 1}$ mit $\frac{h'}{f'}\frac{f''}{f'''} - \frac{h''}{f'''} + \frac{h'''}{f'''}$ multiplicirt,

und da $h' = h''\left(\frac{f+f'}{f-f'}\right)$ und $h''' = h''\left(\frac{f-2f'-2f''}{f-f'}\right)$ und auch noch $f''' = f'$ ist, so wird jener Multiplicator =

$$h''\left\{\frac{f+f'}{f'(f-f')} - \frac{1}{f'} + \frac{f-4f'}{f'(f-f')}\right\},$$

$$= \frac{h''}{f'}\left\{\frac{f-2f'}{f-f'}\right\}$$

$$\text{oder} = \frac{h'}{f'}\left\{\frac{f-2f'}{f+f'}\right\}$$

$$= \frac{\varphi(f-2f')}{f'},$$

also nicht so sehr vermindert, als man wünschen möchte. Auch bei dem in No. 20. betrachteten Fernrohre ist die Farbenzerstreuung nicht ganz aufgehoben, und daher das Erdfernrohr mit 4 Ocularen vorzuziehen, wofür ich hier jedoch die Rechnung nicht durchführen will, da dieses ohne erhebliche Weitläuftigkeit nicht geschehen könnte.

Einige Bemerkungen über die Einrichtung und Aufstellung der Fernröhre.

29. Mit der Kunst, Fernröhre zu verfertigen, bin ich zu wenig vertraut, um darüber hier etwas zu sagen: ich begnüge mich daher mit einzelnen Bemerkungen, die auch für denjenigen wichtig sind, welcher blofs die Anordnung des Fernrohrs verstehen lernen will.

Ich habe schon früher erwähnt, wie nöthig es sey, dafs die Mittelpuncte aller der Kugelflächen, welchen die einzelnen Oberflächen der Linsengläser angehören, genau in gerader Linie liegen. Wenn dieses nicht der Fall ist, so fällt des Glases A Brennpunct in b, und darauf gründet sich ein Mittel, dieses Centriren genau zu bewirken, dessen sich die Künstler jetzt nach FRAUNHOFER's Anleitung gern bedienen. Man bringt nämlich das Fernrohr so auf die Drehbank, dafs des Fernrohrs Axe mit der Drehungsaxe genau zusammen fällt, und sieht nun durch die Gläser auf einen entfernten Gegenstand; liegt der Brennpunct des Objectivs so wie b, so wird bei der Drehung der Brennpunct um den ganzen Sehewinkel $bD\beta$ seine Lage ändern und der Gegenstand scheint sich in starkem Mafse zu erhöhen und zu senken. So lange dieses der Fall ist, mufs die Lage des Glases, dessen Stellung Schuld hieran ist, berichtigt, und dieses erst dann fest gestellt werden, wenn das Tanzen des Gegenstandes völlig aufhört. Wie man die Centrirung eines zusammengesetzten Objectivs dadurch bewirken kann, dafs man die von den einzelnen Flächen dargestellten Spiegelbilder genau in eine gerade Linie bringt, hat WOLLASTON gezeigt[1]. Man bringt ein Licht hinter das Objectiv und besieht dieses durch das Rohr mit Weglassung aller Augengläser; dann zeigen sich aufser dem Bilde, welches vom convexen Linsenglase hervorgebracht wird, jene durch Spiegelung an den Oberflächen entstehenden Bilder, deren mehrere man leicht gewahr wird. WOLLASTON hat die bei einem dreifachen Objective entstehenden 15 Bilder alle gesehen. Da man aus theoretischen Gründen den Ursprung jedes einzelnen Bildes kennt, so kann man, wenn bestimmte Bilder sich von der geraden Linie entfernen, schon beurtheilen, wie dasjenige Glas, dem sie ihren Ursprung verdanken, durch Stellschrauben anders gestellt werden mufs, um berichtigt zu werden. Wenn man bei einem guten Objective sich genöthigt sieht, die Gläser, aus denen es zusammengesetzt ist, aus einander zu nehmen, so thut man wohl, durch ein Zeichen am Rande die Stellung, die sie hatten, kenntlich zu machen, um sie nachher so wieder zu vereinigen, wie sie vereinigt gewesen waren.

Fig. 37.

30. Ich mufs noch etwas über die *Blendungen*, die man mitten im Fernrohr findet, und über das *Fadenkreuz* sagen.

---

1 Gilb. LXXIII. 264.

Die Blendungen haben da ihren Platz, wo die durch die Mitte des Objectivs gehenden Hauptstrahlen die Axe des Fernrohrs schneiden. Die durch den wahren Mittelpunct des Objectivs gehenden Strahlen kommen dort in einen einzigen Punct zusammen, aber die Oeffnung der Blendung muſs dennoch kein bloſser Punct, sondern hinreichend seyn, um so viel Strahlen als nöthig sind, um hinreichendes Licht zu geben, durchzulassen.

Das *Fadenkreuz* dient, um den genauen Mittelpunct des Fernrohrs und zwei auf einander senkrechte Durchmesser des Gesichtsfeldes zu bezeichnen. Es ist *im Brennpuncte des letzten Oculars* angebracht, weil da dieser wirkliche Gegenstand unmittelbar neben dem letzten Bilde liegend, deutlich gesehen wird. Die Fäden werden zugleich erheblich vergröſsert gesehen, weil die Brennweite des letzten Oculars, (welches zu diesem Zwecke freilich ein convexes seyn muſs) allemal klein in Vergleichung gegen die Weite des gewöhnlichen Sehens ist. Man bedient sich der *Spinnewebefäden* oder sehr feiner *Metallfäden*. In Hinsicht auf die erstern sezte ich hierher eine, mir schon vor geraumer Zeit von dem berühmten Astronomen Bessel handschriftlich mitgetheilte Anleitung, wie diese in das Fernrohr eingezogen werden. „Man nimmt den Ring, an welchem die Fäden ausgespannt werden sollen, aus der Ocularröhre heraus und läſst durch einen Uhrmacher oder Mechanicus mit einem Grabstichel auf seiner Peripherie Linien ziehen, die durch den Mittelpunct gehen und auf einander senkrecht sind. Sollen mehrere Parallelfäden eingezogen werden, so dienen dazu die übrigen in der Figur angezeigten Linien. Man feilt dann den Grat ab, und schleift da, wo in der Zeichnung die Schattirung ist, etwas Metall weg. Dann sucht man ein Spinnennest (in den Monaten am Ende des Winters findet man diese häufig an dunkelen, mit der freien Luft in Verbindung stehenden Orten) zieht einen Faden heraus, und fährt einige Male mit dem Daumen und Zeigefinger daran herab, um ihn vom Staube zu befreien, am besten indem man ihn mit einer Cirkelspitze, woran sich etwas Klebwachs befindet, fest hält, und das Nest herabhängen läſst. Man spannt dann einen Theil des Fadens zwischen beiden Cirkelspitzen aus, indem man eine zureichende Länge des Fadens zwischen ihnen mit Klebwachs befestigt, und indem man so den nur mäſsig angespannten reinen Faden zwischen den Cirkelspitzen hält, behaucht man ihn, um ihn nun

Fig. 38.

noch etwas stärker anzuspannen. Dann legt man den Ring, worin er eingespannt werden soll, auf einen Tisch, auf welchem ein Blatt schwarzen Papiers befindlich ist, und legt den Cirkel so darüber weg, daſs der Faden einer der darauf gezeichneten Linien entspricht. Ist er schon stark genug gespannt, so kann man ihn sogleich festkleben, und dieses geschieht am besten dadurch, daſs man ein nicht scharfes eisernes Instrument, z. B. einen Schraubenzieher, mit hölzernem Hefte, im Lichte erhitzt, dann etwas Wachs an die Spitze bringt, und dann wieder so stark erhitzt, bis dieses anfängt zu verdampfen; dadurch wird das Wachs im höchsten Grade flüssig, und man kann hiermit den Faden sehr gut befestigen; — daſs der Schraubenzieher nicht an der Spitze ins Licht gekommen und beräuchert seyn muſs, versteht sich von selbst. Ist der Faden noch nicht gespannt genug gewesen, so reiſst man ihn, nachdem nur das eine Ende angeklebt worden, von der andern Cirkelspitze los und spannt ihn, ehe man die zweite Befestigung anbringt, mit der Hand stärker, (dies kann dadurch geschehen, daſs man den Ring so sehr belastet, daſs der Faden nur noch kaum stark genug ist, ihn fortzuziehen, und indem man dann durch dieses Fortziehen den Faden völlig anspannt), worauf dann die Befestigung, wie vorhin, erfolgt. Um sich zu überzeugen, ob der Faden gut gespannt ist, thut man wohl, ihn nach der Befestigung zu behauchen und schnell mit einer Loupe zu besehen, um gewahr zu werden, ob er selbst im feuchten Zustande hinreichend gespannt bleibt. Wenn alle Fäden eingezogen sind, pflege ich auf die Rinnen, in welchen sie liegen, kleine Puncte von Lackfirniſs zu machen, nach dessen Antrocknen das Wachs, wenn es im Wege seyn sollte, weggenommen werden kann. Die zu dieser Arbeit nöthige Uebung erwirbt man sich leicht, wenn gleich der erste Versuch die Geduld wohl oft sehr ermüdet." — So weit Bessel's Anleitung.

Da die gewöhnlichen Metallfäden zu dick sind, um da, wo man sehr genaue Bestimmungen erhalten will, angewandt zu werden, so hat Wollaston eine Methode vorgeschlagen und ausgeführt, um sich ungemein feine Fäden zu verschaffen. Es ist bekannt, daſs man feine Silberfäden dadurch hervorbringt, daſs man einen dickeren Silberstab nach und nach durch immer engere Oeffnungen zieht; durchbohrt man nun diesen noch nicht sehr dünne gezogenen Silberstab nach der Richtung sei-

ner Axe, so daſs die Oeffnung ein genaues Zehntel des ganzen Durchmessers ist, und gieſst diese Oeffnung mit Golde aus, so läſst sich jetzt der Silberstab mit dem darin enthaltenen Golde weiter ziehen, und man erhält, wenn der Silberfaden $\frac{1}{500}$ Zoll dick ist, einen Goldfaden von $\frac{1}{5000}$ Zoll Dicke, von welchem 550 Fuſs nur 1 Grain wiegen. Um ihn vom Silber zu befreien, legt man ihn einige Minuten in Salpetersäure, die das Silber auflöst, das Gold aber unverändert läſst. Wollaston behauptet auf eine ähnliche Art Platindrähte von $\frac{1}{18000}$ Zoll Dicke erhalten zu haben, die doch noch ein Gewicht von $1\frac{1}{4}$ Grain zu tragen vermochten, zugleich aber bemerkt derselbe, daſs das Anbringen solcher Drähte an bestimmten Stellen viel Schwierigkeit habe, weil Drähte unter $\frac{1}{2000}$ Zoll Durchmesser nicht mehr mit bloſsen Augen sichtbar sind; er räth daher, an ihrem Ende ein wenig Silber übrig zu lassen, damit man sie an den Enden fassen könne[1].

31. Die *Aufstellung* der Fernröhre kann zwar nach Verschiedenheit des Zwecks höchst mannigfaltig seyn, und muſs bei jedem bestimmten Instrumente besonders angegeben werden; aber einige Bemerkungen über die Aufstellungen, welche da passend sind, wo man das Fernrohr nur als Fernrohr gebrauchen will, gehören auch hierher. Will man ein Fernrohr mit einiger Annehmlichkeit gebrauchen, so muſs es auf einem dreifüſsigen Fuſsgestelle auf einem Tische oder auf dem Fuſsboden aufgestellt werden können. Hat man nicht die Absicht, es zu sehr genauen Beobachtungen zu gebrauchen, so ist es zureichend, wenn an den Ringen, die das Fernrohr umfassen, eine Nuſs angebracht ist, die in eine hohle Kugelform durch Schrauben eingeklemmt festgehalten werden kann. Dadurch ist man im Stande das Fernrohr nach allen Richtungen leicht zu bewegen und es doch auch in bestimmten Richtungen feststehend zu erhalten. Will man das Fernrohr auf Reisen mitnehmen, so kann man statt des zu schweren Fuſses nur irgend ein Mittel, um die Hülse der Nuſs an einem Baume, Pfahle u. s. w. zu befestigen anbringen.

Will man aber das Fernrohr zu genauen Beobachtungen gebrauchen, will man namentlich den Stern, den man einmal im Felde hat, verfolgen, so bedarf man einer doppelten feinen Be-

---

1 Gilb. LII. 289.

wegung, um nach zwei, auf einander senkrechten Richtungen die Stellung des Fernrohrs zu verändern. Bei Fernröhren, die nicht fest aufgestellt, sondere transportabel sind, macht man diese doppelte Bewegung so, dafs die eine horizontal, die andere vertical ist. Das Fernrohr kann nämlich um eine auf dem Fuſse ruhende verticale Axe gedrehet, und dann festgestellt werden; aber bei dieser Feststellung ist die Einrichtung getroffen, dafs eine Schraube ohne Ende in Zähne, die auf dem Rande einer horizontalen, mit dem Fernrohre fest verbundenen Scheibe eingeschnitten sind, eingreift, und so das Fernrohr sehr langsam nach horizontaler Richtung fortzieht, wenn man die Stellung nur in dieser Richtung ein wenig ändern will. Zugleich ist der auf der verticalen Axe ruhende Theil der Unterstützung des Fernrohrs mit einer horizontalen Axe versehen, damit das Fernrohr sich in einer verticalen Ebene bewegen oder in allen verschiedenen Neigungen gegen den Horizont aufgestellt werden könne. Hat man es also in die Verticalebene gebracht, in welcher sich der zu beobachtende Gegenstand befindet, so stellt man es höher oder tiefer, so wie es die Lage des Gegenstandes fordert, und hilft durch eine ganz ähnliche feine Bewegung, wie die vorhin beschriebene, nach, um die richtige Stellung völlig zu erreichen. Ist der beobachtete Gegenstand ein Stern, der das Feld des Fernrohrs bald verlassen würde, so müssen beide Schrauben zugleich fortgedreht werden, um der Bewegung des Sternes zu folgen.

Wenn das Instrument an einem bestimmten Orte fest steht, so giebt man der ersten, vorhin verticalen, Axe lieber eine mit der Weltaxe parallele Stellung. Dann ist eine um diese Axe gehende Drehung mit der täglichen Bewegung der Gestirne übereinstimmend, und um einen einmal mitten im Fernrohre befindlichen Stern in der Mitte des Feldes zu erhalten, ist nur die eine Fortbewegung um diese Axe nöthig; die Fortbewegung um die andere Axe dient dann, Sterne aufzufinden, die auf demselben Declinationskreise stehen.

Um das Fortschrauben des Fernrohrs zu vermeiden, was nie mit der Hand so gleichförmig geschieht, dafs der Stern genau in demselben Puncte des Feldes bleibt, hat man wohl Uhrwerke angebracht, die das Fernrohr in 24 Stunden um jene der Weltaxe parallele Axe herumführen, und so die Stelle jener fortschraubenden Bewegung vertreten. Die vollkommensten Werke

der Art sind ohne Zweifel die großsen *Fraunhofer'schen Refractoren*, bei denen dieses Uhrwerk zwar nicht auf ein so langes Fortgehen eingerichtet ist, aber eine solche Vollkommenheit besitzt, dafs der Stern wie befestigt im Felde des Fernrohrs erscheint, und man beim Beobachten gar nicht durch eine zitternde Bewegung gestört wird. Das Uhrwerk kann leicht aufser Verbindung mit der Axe, um die sich das Fernrohr drehen läfst, gesetzt werden, und dann ist man völlig im Stande, dem Fernrohre jede willkürliche Stellung durch freie Drehung mit der Hand zu geben. Stellt man aber die Verbindung mit dem Uhrwerke her, so treibt dieses, wenn man sein Gewicht frei läfst, das Fernrohr mit fort. Ein Gewicht nämlich ist so abgeglichen, dafs es allen gegenüberstehenden Theilen und über das auch der Reibung so das Gleichgewicht hält, dafs die geringste Vermehrung desselben Bewegung hervorbringen würde. Die Verbindung von Räderwerk, die als Vorlage die Bewegung des ganzen Fernrohrs vermittelt, wenn das Gewicht zu sinken anfängt, kann ich hier nicht beschreiben; es erhellet aber, dafs ein geringes Uebergewicht jenem Gewichte zugelegt im Stande ist, die schon völlig aequilibrirte Maschine in Gang zu setzen, und dafs dieser Gang ein beschleunigter seyn würde, wenn das Gewicht ohne neues Hindernifs frei herabsänke. Diese beschleunigte Bewegung würde ganz dem Zwecke der gleichmäfsigen Fortbewegungen entgegen seyn, und das Werk bedurfte daher eines Regulators, den FRAUNHOFER durch eine bei vermehrter Schnelligkeit vermehrte Reibung zu Stande gebracht hat. Mit dem Uhrwerk nämlich wird eine Unruhe, die zwei schwere Metallmassen an einer elastischen Feder trägt, in schnellen Umschwung gesetzt. Sie befindet sich in einem Gefäfse und zwar so, dafs jene Massen bei der Ruhe das Gefäfs nicht berühren, bei der Drehung aber sich vermöge der Schwungkraft an die Wände andrängen und sich an diesen desto mehr reiben, je schneller die Drehung ist. Durch diese Reibung wird die Beschleunigung der Bewegung, sobald diese einen gewissen Grad erreicht hat, gehindert, und da man durch eine kleine Correction in der Stellung der Metallmassen bewirken kann, dafs die Beschleunigung bei einem höhern oder minder hohen Grade von Geschwindigkeit aufhört, so ist es nicht schwer, es so einzurichten, dafs die erlangte gleichförmige Geschwindigkeit genau die sey, welche das Fernrohr

erlangen soll. Nach STRUVE's Versicherung entspricht diese Anordnung der *Centrifugal-Unruhe* aufs vollkommenste ihrem Zwecke[1]. Ueberhaupt gehören diese gröfsten Fernröhre FRAUNHOFER's zu den Meisterwerken der Kunst, deren Ausführbarkeit man beim Antritt dieses Jahrhunderts noch für unmöglich hielt. Das jetzt in Dorpat befindliche, vermuthlich das letzte, von FRAUNHOFER selbst vollendete, ist 13 Fufs 7 Zoll lang, des Objectivs Brennweite ist 160 Zoll und seine Oeffnung beträgt genau 9 Zoll. Die vier Vergröfserungen sind 140, 210, 320, 480 Mal, wobei die Gesichtsfelder 13',2; 8',0; 5',7 und 4',2 sind. Dieses Instrument leistet auch wirklich das vollkommen, was seine Gröfse erwarten läfst. STRUVE glaubt, dafs es an Schärfe der Bilder alle Spiegelteleskope übertreffe, indefs ist die Behauptung, dafs es auch gröfsere Lichtstärke besitze, als die grofsen Spiegelteleskope, noch nicht ganz entschieden[2], und aus den von STRUVE gegebenen Nachrichten, erhellet nur, dafs man die meisten Gegenstände, welche HERSCHEL mit seinen Teleskopen entdeckt hat, auch mit diesem Fernrohre mufs auffinden und mit nicht viel geringer Klarheit beobachten können[3].

32. Da bei stark vergröfsernden Fernröhren allemal das Gesichtsfeld sehr klein ist, so ist es schwierig, einen bestimmten Gegenstand am Himmel aufzufinden, und man bedarf daher bei Fernröhren, die irgend bedeutende Vergröfserung geben, des *Suchers*. Dieses ist ein kleines Fernrohr, welches ein grofses Feld hat, und zureichende Lichtstärke bei mäfsiger Vergröfserung besitzen mufs, um die Gegenstände selbst einigermafsen wahrnehmen zu lassen, die man mit dem gröfsern Fernrohr beobachten will, oder doch wenigstens zureicht, um Gegenstände nahe bei den zu beobachtenden aufzufinden. Wenn der Sucher richtig gestellt ist, so mufs der Punct, welcher von der Mitte seines Fadenkreuzes verdeckt wird, genau in der Mitte

---

1 STRUVE Beschreibung des grofsen Refractors. Dorpat 1825. Fol.

2 Ich behalte daher diese Vergleichung dem Art. *Spiegelteleskop* vor.

3 Da die Utzschneider'sche Werkstatt wohl immer noch diejenige ist, an welche allein man sich, um ausgezeichnet grofse und vorzügliche Fernröhre zu erhalten, wenden kann, so führe ich einige Schriften an, wo die Preise dieser Fernröhre angegeben sind. DE ZACH corresp. astronomique VI. 94. Astron. Zeitschrift von v. LINDENAU und v. BOHNENBERGER II. 173. Gilb. Ann. LIV. 202.

des Feldes des grofsen Fernrohrs erscheinen, oder die Axen beider müssen genau übereinstimmen. Will man Gegenstände aufsuchen, die für den Sucher zu klein oder zu lichtschwach sind, so wird man wohl immer einige benachbarte Gegenstände kennen, die man im Sucher wahrnehmen und mit deren Hülfe man den Punct, wo jener Gegenstand stehen soll, in die Mitte des Fernrohrs bringen kann.

Einige besondere Vorschläge zu Fernröhren.

33. Brewster's *Fernrohr, um Gegenstände unter Wasser zu sehn.* Da wir die im Wasser befindlichen Gegenstände, bei hinreichender Durchsichtigkeit des Wassers, theils wegen Unebenheiten der Oberfläche, theils weil wir in schiefer Richtung auf die Oberfläche blickend, zu viel zurückgeworfene Strahlen erhalten, nicht gut sehen, so bemerkt Brewster erstlich, dafs eine ins Wasser mit dem einen Ende eingetauchte, und dort mit einem, senkrecht auf die Axe gestellten Planglase fest gegen das Eindringen des Wassers verwahrte Röhre schon allein zum Sehen der im Wasser befindlichen Gegenstände sehr beförderlich seyn würde. Hier nämlich ist die Richtung des Sehens senkrecht auf die durch das Glas fest bestimmte Oberfläche des Wassers, und diese Oberfläche ist zugleich ganz eben. Zweitens aber, wenn der Boden so entfernt sey, dafs man eines eigentlichen Fernrohrs bedürfe, so müsse, fügt Brewster hinzu, das Objectiv, welches nun an die Stelle jenes Planglases tritt und wieder die Röhre wasserdicht verschliefst, so berechnet werden, wie es den aus Wasser in Glas und aus Glas in Luft übergehenden Lichtstrahlen gemäfs ist. Diese Rechnung liefse sich leicht genug anstellen, aber dennoch scheinen dem Sehen unter Wasser manche Schwierigkeiten entgegen zu stehen, da die geringste Trübung das Wasser undurchsichtig und die Erleuchtung in der Tiefe schwach macht, und überdas eine wallende Oberfläche, indem sie viele Strahlen zurückwirft, nur wenige zur Erleuchtung in die Tiefe gelangen läfst[1].

Brewster's Vorschläge zu Fernröhren, die zu Bestimmung der Entfernung der gesehenen Gegenstände dienen, gehören

---

1 Brewster on philosophical Instruments. p. 225. und Gilb. L. 65.

nicht ganz hierher, da sie mit der Theorie der Mikrometer in Verbindung stehen[1].

34. Kitchiner's *pancratic Eyetube.* Unter diesem Namen eines, alle Vergröſserungen bewirkenden Ocular-Einsatzes kündigte Kitchiner eine Verbesserung der Fernröhre an[2], von deren wirklicher Anwendung nichts Genaueres öffentlich bekannt geworden ist[3]. Ich theile hier einen Auszug jener Anzeige mit einigen Bemerkungen mit.

Es ist bekannt, heiſst es dort, daſs man bei vier Ocularen die Vergröſserung sehr vermehren kann, wenn man die beiden letzten, oder dem Auge nächsten Oculare von einander entfernt, dies kann indeſs nur höchstens bis auf eine nicht völlig das Doppelte der gewöhnlichen erreichende, Vergröſserung getrieben werden. Der Verf. dieser Anzeige dagegen habe sich bemüht, diese Steigerung der Vergröſserung weiter zu treiben, und es sey ihm gelungen, durch seinen Ocular-Ansatz, an ein 44 zolliges achromatisches Fernrohr angebracht, die feinsten Doppelsterne schärfer und deutlicher zu zeigen, als es bisher bei irgend einem andern möglich war. Mit einem Dollond'schen Fernrohre von 30 Zoll Brennweite und 2,7 Zoll Oeffnung, lieſs sich bei 230maliger Vergröſserung der Stern Castor als Doppelstern deutlich erkennen u. s. w. Ueber die Einrichtung dieses Ocular-Einsatzes wird bloſs Folgendes angegeben. Wenn die drei Röhren A, B und C in die Röhre D ganz eingeschoben werden, so giebt das Fernrohr seine eigenthümliche Vergröſserung, zufolge der Zusammensetzung beider Linsenpaare nach ihren Brennweiten. Soll aber die Vergröſserung vermehrt werden, so muſs die bewegliche Röhre A bis zu einer der bemerkten Zahlen ausgezogen werden, die Röhren B, C aber werden nicht eher berührt, bis A ganz ausgezogen ist; sodann wird die zweite Röhre B nach und nach bis zu den bemerkten Zahlen ausgezogen, und endlich die dritte Röhre C. Die Zahlen deuten die anwachsende Vergröſserungskraft des Fernrohrs an, und ver-

Fig. 39.

1 Brewster on ph. Instr. p. 134.

2 Astron. Jahrb. für 1826. S. 177.

3 Vermuthlich findet sich mehr darüber in einem wahrscheinlich von eben dem Kitchiner herausgegebenen Buche: The Economy of the Eyes; Second Part; of Telescopes, beeing the Result of 30 Years Experiments with 51 Telescopes from 1 to 9 Inches in Diameter, by Kitchiner — aber dieses Buch habe ich noch nicht erhalten.

muthlich sind diese Zahlen so zu verstehen, daſs die nach der gewöhnlichen Stellung der Gläser erlangte Vergröſserung auf das 1,1 fache, 1,2 fache, 1,3 fache und endlich auf das 4 fache getrieben wird, wenn man die Röhren bis an die Linien 110, 120, 130, und endlich 400 herauszieht.

Hierbei ist nun unstreitig die Behauptung, daſs man auf diese Weise geradehin mit jedem Objective eine so ungemein verstärkte Vergröſserung erhalten könne, zu umfassend; denn das Objectiv muſs an sich einen gewissen Grad von Vollkommenheit besitzen, um eine starke Vergröſserung zu vertragen, und wenn ein Objectiv von 30 Zoll Brennweite eine 80 malige Vergröſserung auch noch recht gut erlaubt, so wird dennoch nicht allemal auch bei 270 maliger Vergröſserung das Bild noch schön genug ausfallen. Aber allerdings ist es wahr, daſs manche Objective, die ursprünglich nur für 40 malige Vergröſserung bestimmt waren oder sich in Fernröhren befinden, denen der Künstler keine stärker vergröſsernde Oculare gab, sich noch gut genug für viel stärkere Vergröſserungen zeigen. Solche Objective setzt also Kitchiner voraus, und wir wollen nun ungefähr angeben, wie das Ausziehen der Röhren die Vergröſserung mit der Stellung der Oculare ändert. Die Einrichtung bei diesen veränderlichen Stellungen der Oculare kann verschieden seyn; ich will zwei derselben etwas näher betrachten, erstlich die, wo die drei ersten Oculare in ihren gegenseitigen Stellungen bleiben, und nur das letzte seine Stelle ändert, zweitens die, wo das erste Ocular mit dem zweiten, und das dritte mit dem vierten fest verbunden ist, wo aber der Abstand des zweiten und dritten verändert wird.

Im ersten Falle erhellet sogleich, daſs wenn man das vierte Ocular allein herauszieht oder hineinschiebt, kein deutliches Sehen statt finden konnte; denn die Bilder, welche durch das Objectiv und die vereinigten ersten Oculare hervorgebracht werden, blieben dann ganz an derselben Stelle, das letzte also nicht mehr im Brennpuncte des letzten Oculars; es ist daher nöthig, daſs auch die Stellung der drei fest verbundenen Oculare geändert werde, und wir wollen die dann entstehende Aenderung der Vergröſserung bestimmen. Des Objectivs Brennweite sey = 30 Zoll = 360 Linien; die Brennweite des ersten Oculars sey = 15 Linien; des zweiten = 12 Linien; des dritten = 18 Linien und des vierten = 12 Linien. Der unveränderliche Ab-

stand des ersten und zweiten Oculars sey 18 Linien, des zweiten und dritten Oculars = 36 Linien. Als ersten Fall setze ich nun den Brennpunct des Objectivs 10 Linien vom ersten Oculare entfernt; dann entsteht das wirkliche Bild in der Entfernung = 6 Linien vom ersten Oculare, und = 12 Linien vom zweiten Ocular, und da es also im Brennpuncte des zweiten Oculars liegt, so fallen die Strahlen parallel auf das dritte Ocular, und sammeln sich in dessen Brennpuncte, der zugleich der Brennpunct des vierten seyn mufs. Hier müssen also die beiden letzten Oculare 30 Linien von einander abstehen, und die Vergröfserung ist $= \frac{360}{10} \cdot \frac{6}{12} \cdot \frac{18}{12} = 27$ malig.

Dagegen sey das erste Ocular in die Stellung gebracht, dafs der Brennpunct des Objectivs nur 6 Linien hinter dem ersten Oculare liege, dann liegt das wahre Bild $= 4\frac{2}{7}$ Lin. hinter dem ersten und $13\frac{1}{7}$ Linien vom zweiten Oculare; die durch das zweite Ocular gehenden Strahlen convergiren jetzt gegen einen Punct, der 113 Linien hinter dem zweiten also 77 Linien hinter dem dritten Oculare liegt; und diese geben $14\frac{1}{3}$ Linien hinter dem dritten Oculare das zweite wirkliche Bild; damit dieses im Brennpuncte des vierten Oculars sey, müfste dieses um $3\frac{1}{3}$ Lin. hinein geschoben werden, und die Vergröfserung wäre

$$= \frac{360}{6} \cdot \frac{4\frac{2}{7}}{13\frac{1}{7}} \cdot \frac{113}{77} \cdot \frac{14\frac{1}{3}}{12} = 34{,}2 \text{ fach.}$$

Drittens sey das erste Ocular nur 4 Linien vom Brennpuncte des Objectivs entfernt, also das Bild $3\frac{1}{19}$ Lin. vom ersten und $14\frac{18}{19}$ Linien vom zweiten Oculare entfernt; die aus dem zweiten Oculare hervorgehenden Lichtstrahlen convergiren so, dafs sie in $62\frac{2}{3}$ Linien Entfernung sich sammeln würden, wenn sie nicht das dritte Ocular anträfen; dieser Sammlungs-Punct liegt aber $26\frac{2}{3}$ Linien vom dritten Oculare entfernt, und das zweite Bild $10\frac{1}{4}$ Linien von demselben, das vierte Ocular mufs also in Vergleichung gegen die erste Stellung $7\frac{1}{4}$ Lin. hereingeschoben werden, und die Vergröfserung ist

$$\frac{360}{4} \cdot \frac{3\frac{1}{19}}{14\frac{18}{19}} \cdot \frac{62\frac{2}{3}}{26\frac{2}{3}} \cdot \frac{10\frac{1}{4}}{12} = 40\frac{1}{3}.$$

Diese Beispiele zeigen, wie eine Veränderung in der Stellung zweier Gläser die Vergröfserung ändert; aber nach Schu-

macher's Angabe[1] werden die beiden verbundenen letzten Oculare herausgezogen, die beiden ersten zurückgeschoben; und dadurch die Aenderung der Vergrößserung bewirkt. Gehe ich also von dem Falle aus, wo die Vergrößserung die $40\frac{1}{3}$ fache war, und stelle nun das erste Ocular $4\frac{1}{2}$ Linien vom Brennpuncte des Objectivs entfernt, so liegt das erste wirkliche Bild $3\frac{6}{11}$ Linien vom ersten und $14\frac{7}{11}$ Linien vom zweiten Oculare; die auf das zweite Ocular fallenden Strahlen würden nach dem Durchgange durch dieses ein Bild in $68\frac{8}{11}$ Lin. Entfernung hervorbringen, und damit dieses $26\frac{2}{3}$ Lin. hinter dem dritten Oculare liege, müßste dessen Abstand vom zweiten auf 42 Linien gebracht werden, statt daß er vorhin nur 36 war, das ist die beiden letzten Oculare müßsten 6 Linien herausgezogen, die beiden ersten $\frac{1}{2}$ Lin. hineingeschoben werden, und es ist nun die Vergrößserung $\frac{360}{4\frac{1}{2}} \cdot \frac{3\frac{6}{11}}{14\frac{7}{11}} \cdot \frac{68\frac{2}{3}}{26\frac{2}{3}} \cdot \frac{10\frac{1}{4}}{12}$ also ungefähr 44 fach.

Schumacher bemerkt aber mit Recht, daß ein besonderer Nutzen dieser Ocularröhren nicht erhelle, einzig den ausgenommen, daß man untersuchen kann, welche Vergrößserung ein gegebenes Objectiv noch gut vertrage; in so fern möchte es den Künstlern, die Fernröhre verfertigen, von einigem Nutzen seyn, die Entfernung der beiden letzten Oculare von den beiden ersten so zu bestimmen, daß die Vergrößserung möglichst stark werde[2]. *B.*

Festigkeit.

Soliditas; Solidité; *Firmness, Solidity;* bezeichnet eine *relative* Eigenschaft verschiedener Körper, welche deswegen nur relativ ist, weil es kein absolutes Maß oder keine absolute Größe derselben giebt. Diese Bezeichnung wird dann in einem zweifachen Sinne genommen. Entweder bezeichnet Festigkeit (oder besser Starrheit, weswegen auch richtiger starre

1 Astron. Nachrichten IV. No. 88.

2 Als einen Vortheil, den man allenfalls aus dieser Einrichtung ziehen kann, bemerkt doch Kunowsky, daß man bei ungleicher Durchsichtigkeit der Luft, sogleich die angemessenste Vergrößserung, die man gerade brauchen kann, finde. Eine ähnliche Einrichtung des Oculars von Cauchoix, giebt Biot an (Experim. Phys. III. 437.); Cauchoix nennt diese Fernröhre lunettes polyaldes.

Körper als feste gesagt wird), diejenige Eigenschaft oder denjenigen Zustand der Körper, vermöge dessen ihre Theile einer ihre Trennung von einander oder Verschiebung über einander bewirkenden Kraft irgend einen meſsbaren und meistens sehr bedeutenden Widerstand entgegensetzen, in welcher Beziehung diese ihre Beschaffenheit der tropfbaren und gasförmigen Flüssigkeit entgegensteht; oder aber der Ausdruck Festigkeit bezeichnet den gröſseren und geringeren Grad dieses Widerstandes gegen irgend eine Art der Trennung ihrer Theile, in welchem Falle sie der Zerbrechlichkeit, Zerreiſsbarkeit, überhaupt der Zerstörbarkeit entgegensteht, und in die absolute, relative, rückwirkende und der Drehung widerstehende Festigkeit abgetheilt wird. In der letzten Bedeutung ist die Sache in gehöriger Vollständigkeit in den Art. *Cohaesion* und *Elasticität* abgehandelt, auch sind in dem ersteren derselben diejenigen Ansichten angegeben, welche man sich von dem Wesen und den Bedingungen dieses Zustandes gemacht hat. Noch einiges, was sich hierüber beibringen läſst, wird am besten unter *Flüssigkeit* und *Gas* abgehandelt werden. Es bleibt somit hier nichts weiter übrig, als die ihres allgemeinen Bekanntseyns wegen fast überflüssige Bemerkung, daſs eine scharfe Bezeichnung des Zustandes der Festigkeit, im Gegensatze der Flüssigkeit oft schwierig, wo nicht unmöglich ist, indem man sich leicht in Verlegenheit befinden könnte, ob man z. B. erweichtem Wachse, Pech u. s. w. die Eigenschaft der Festigkeit oder der Flüssigkeit beilegen solle. Eben daher wird aber diese Eigenschaft mit Recht eine relative genannt. *M.*

Feuer.

Ignis; Feu; *Fire*. Die Bedeutung des Worts *Feuer* hat sich allmälig sehr geändert. In früheren Zeiten bezeichnete dasselbe bei wissenschaftlichen Untersuchungen einen gewissen Elementarstoff, oder auch eine Grundkraft, welche als die Ursache alles Erwärmens und Verbrennens angesehen wurde, wie sich deutlich aus den Ausdrücken: *Feuerstoff*, *Feuerwesen*, *Elementarfeuer* u. a. ergiebt. Diese Wortbedeutung kann aber als gänzlich untergegangen betrachtet werden, wenigstens wenn von den neuesten Zeiten die Rede ist. Auſserdem aber bezeichnet dieses Wort, hauptsächlich im gemeinen Leben, das sogenannte *Küchenfeuer*, oder dasjenige, was durch den Act des

Verbrennens gegeben wird, wie die Ausdrücke *Feuerheerd, Feuerlöschung, Feuerhake* und viele andere beweisen. Indem somit alle diejenigen physikalischen Untersuchungen, welche ehemals über das Wesen und Verhalten des Feuers angestellt wurden, gegenwärtig zur Wärmelehre gehören, so kann hier nur von demjenigen die Rede seyn, was man gegenwärtig unter dem Ausdrucke Feuer versteht. Hierbei ist eine genaue Feststellung der Begriffe nicht ganz leicht, wenn man berücksichtigt, wie schwankend die eigentliche Bedeutung des Wortes an und für sich und in seinen vielfachen Zusammensetzungen ist. Aus dem Gesichtspuncte des Physikers betrachtet kann man indefs sagen, dafs Feuer jederzeit dann zum Vorschein kommt, wenn irgend ein Körper mit Ausscheidung von Licht und Wärme verbrennt, und hiernach fällt die ganze Untersuchung mit der des *Verbrennens* zusammen, wohin sie daher zu verweisen ist.

Insofern der Ausdruck *Feuer* aufser dem sogenannten Küchenfeuer vorzugsweise von demjenigen gebraucht wird, welches so oft einzelne Häuser und ganze Ortschaften verzehrt, so möge über dieses hier dasjenige gesagt werden, was ganz oder zum Theil in das Gebiet der Physik gehört. Ueber die Entstehung dieser Feuer oder der sogenannten *Feuersbrünste* kann nichts Bestimmtes angegeben werden, weil ihre Ursachen so ausnehmend mannigfaltig und allgemein bekannt sind. Nur so viel will ich hier bemerken, dafs die durch den Blitz erzeugten sich durchaus nicht von andern unterscheiden [1], desgleichen dafs bei weitem die meisten Brände nicht so verheerend seyn würden, als sie in der Regel sind, wenn man sie mit mehr Anstrengung im Entstehen zu unterdrücken suchte. Zum Theil aus dieser Ursache sind sie daher minder verwüstend in den Städten, namentlich den gröfseren, wo eine geregeltere Polizei (andere Ursachen hier nicht zu erörtern), eine gröfsere Menge arbeitsfähiger Menschen und mit mehr Ordnung zum augenblicklichen Löschen anhält, anstatt dafs oft auf dem Lande ein jeder zunächst erst sein Eigenthum zu schützen sucht, wodurch aber das Feuer Zeit gewinnt, mit solcher Macht um sich zu greifen, dafs bald keine Bezwingung desselben mehr möglich ist.

Häufig wird die Beobachtung gemacht, dafs im Anfange einer Feuersbrunst fast völlige Windstille herrscht, beim Fort-

1 Dieses ist ausführlicher unter *Blitz* Th. I. S. 1027. gezeigt.

gange derselben aber der Wind sich erhebt und bei grofsen Bränden selbst in Sturm übergeht, auch zuweilen während dieser Zeit seine Richtung ändert. Unter diesen Erscheinungen folgt die erste, nämlich das Entstehen des Windes einfach und unmittelbar nach pneumatischen Gesetzen durch das Aufsteigen der sehr erhitzten Luft und das hierdurch veranlafste Eindringen der horizontalen Luftschichten, woraus dann auch die mit der Zeit leicht znnehmende Stärke des entstandenen Windes begreiflich wird[1]. Weniger leicht läfst sich die wechselnde Richtung des entstandenen Windes daraus erklären, dafs ähnliche Erscheinungen auch sonst wohl beobachtet werden, im Allgemeinen aber minder auffallen mögen, weil sie nur unbedeutendes Interesse haben, bei einer Feuersbrunst aber von hoher Wichtigkeit sind, und daher vorzüglich auffallen. Aufserdem aber dringt die Luft von allen Seiten in die sehr erhitzte ein, und es kann daher von verschiedenen zusammenwirkenden Bedingungen abhängen, wenn die eine und bald darauf eine andere in gröfserer oder geringerer Höhe über der Erdoberfläche herrschende Luftströmung die Oberhand erhält.

Die Mittel zur *Feuerlöschung* zerfallen in zwei Classen, deren erste die *Instrumente*, die zweite die *gebrauchten Substanzen* in sich fast. Vorher aber ist als allgemeine Regel zu berücksichtigen, dafs ein Brennen überall ohne Zutritt der freien Luft und des in ihr enthaltenen Sauerstoffgases unmöglich ist, dagegen desto stärker wird, je leichter und reichlicher die Luft herbeiströmt. Manches Feuer liefse sich daher in seinem Beginnen ersticken, wenn nicht das Bestreben, sich zum Löschen desselben Zugang zu verschaffen, ein Oeffnen der Zimmer-Gang - und Caminthüren, der Fenster, das Einschlagen der Wände u. s. w. veranlafste. Namentlich würde das so oft gefährliche Brennen der Schornsteine ohne weiteren Nachtheil bleiben, wenn man Anstalten machte, sie durch eine Klappe oder eine sonstige Vorrichtung oben so zu verschliefsen, dafs dadurch der Luftzug in ihnen gänzlich aufgehoben würde. Dahin gehört dann auch das zweckmäfsige und schon mehrmals mit Erfolg angewandte Mittel, auf den Heerden unter den brennenden Schornsteinen eine verhältnifsmäfsige Menge Schwefel anzuzünden, damit das durch den Luftzug aufsteigende schweflich-

1 Vergl. *Wind*.

saure Gas das Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft absorbirt und dadurch das weitere Brennen des Rufses unmöglich macht.

Die Werkzeuge, deren man sich zur Feuerlöschung bedient, sind aufser den gröfseren Wasserkübeln, kleineren Feuereimern, Haken, Rettungsleitern u. s. w. insbesondere der *Feuerspritzen*, welche in der Hauptsache zweifach sind, nämlich sogenannte Handspritzen und gröfsere auf Rädern bewegliche, wovon letztere wieder entweder Stofsspritzen sind, oder einen fortdauernden Wasserstrahl vermöge ihres Windkessels gaben. Handspritzen sind deswegen zu empfehlen, weil man mit ihnen schnell im Innern der Gebäude zu den brennenden Gegenständen gelangen kann, allein ihre Wirkung ist zu geringe, wenn das Feuer schon beträchtlich um sich gegriffen hat. Die vortheilhafteste Construction der Feuerspritzen im Allgemeinen gehört zur Technologie und praktischen Maschinenlehre, kann also hier nicht mitgetheilt werden, die physikalischen Elemente aber, auf denen diese beruhet, sind in andern Artikeln angegeben[1].

Als Material der Feuerlöschung dient im Allgemeinen das Wasser, sey dieses reines oder schmutziges, je nachdem das eine oder das andere in gehöriger Menge am leichtesten zu erhalten ist. Die Wirksamkeit desselben beruhet auf der Abkühlung, welche die brennenden Substanzen durch das Benetzen erhalten, und da zum Verbranntwerden der Combustibilien eine mindestens 300° C. betragende Erhitzung erfordert wird, damit der Zustand des Glühens eintrete, so kann dieser nach der Benetzung mit Wasser nicht weiter fortdauern, theils wegen der hohen Wärmecapacität des Wassers, hauptsächlich aber wegen der ausnehmend grofsen Wärme, welche bei der Bildung des Wasserdampfes latent wird[2], und das Brennen mufs folglich

---

1 S. unter andern Art. *Druckpumpe*; *Hydraulik* u. a. Zur Literatur dient, aufser den Werken über die Hydraulik und die praktische Maschinenlehre, insbesondere: Karsten Abh. über die vortheilhafteste Anordnung zu Feuerspritzen u. s. w. Greifsw. 1773. 4. Klügel Abh. von der besten Art der Feuerspritzen u. s. w. Berl. 1774. 4. Helfenzrieder Abh. von Verbesserung der Feuerspritzen. München 1778. 8. J. E. Silberschlag praktische Abh. von Prüfung und richtiger Angabe der Feuerspritzen, mit Anm. von Busse. Halle 1800. 8. Ferner die engl. Encyklopädieen und die Werke über die Mechanik.

2 S. *Dampf*, latente Wärme desselben.

aufhören. Statt des Wassers hat man andere Auflösungen vorgeschlagen, welche jenes ersetzen und noch außerdem namentlich das Holz mit einem Ueberzuge bedecken sollten, wodurch dasselbe gegen die weiteren Einwirkungen des Feuers geschützt würde, als die durch J. F. Glaser[1] empfohlene Holzaschen-Lauge, schon gebrauchte Bleicherlauge oder Mutterlauge der Seifensieder, Lauge aus den Salzpfannen, Lösungan von Thonerde, überhaupt von Erden, Alkalien und Salzen im Wasser. Am bekanntesten ist diejenige Mischung geworden, welche der Schwede v. Aken empfohlen hat, nämlich eine Auflösung von 40 ℔ schwefelsauren Eisens und 30 ℔ Alaun mit 20 ℔ rothem Eisenoxyd (Colcothar) und 200 ℔ Thon vermengt[2]. Es ist zwar allerdings richtig, daſs solche Substanzen die Dienste des bloſsen Wassers ersetzen und noch auſserdem einen das weitere Verbrennen hindernden Ueberzug bilden, so daſs sie also dem bloſsen Wasser vorzuziehen sind; allein theils sind sie an den meisten Orten nicht in hinlänglicher Menge zu haben, man kann sie gar nicht oder nur mit übermäſsigen Kosten in der erforderlichen Quantität aufbewahren, und mehrere derselben verunreinigen die Schläuche, Guſsröhren und Ventile der Spritzen bis zur Unbrauchbarkeit. Unter den verschiedenen Vorschlägen dieser Art ist derjenige, welchen Six[3] gemacht hat, einer der besten, indem er räth, sich einer Lösung von Meersalz in Wasser zu bedienen, welches weniger leicht gefriert als gemeines Wasser, die Kübel zur Aufbewahrung nicht so leicht faulen läſst, und den brennbaren Substanzen allerdings einen mindestens etwas dem Feuer widerstehenden Ueberzug giebt[4]. Wo indeſs das Meersalz nicht leicht, in gehöriger Menge und wohlfeil zu haben ist, da wird der Gebrauch dieses Mittels schwerlich eingeführt werden, um so mehr als ein nachtheiliger Einfluſs solcher Salzlösungen auf das Metall, namentlich das Eisen, der Feuerlöschungs-Apparate allerdings statt findet.

Es wird oft behauptet, daſs nach Beobachtungen, insbesondere bei heftigen Feuersbrünsten, eine zu geringe Quantität des

---

1 S. Dr. J. F. Glaser's Feuerlöschproben. Marb. 1786. 8.

2 G. XXIII. 314.

3 Ann. de Chim. LIV. 138.

4 Ueber die Mittel, wodurch man die Verbrennlichkeit der Körper aufzuheben oder zu vermindern beabsichtigt s. Art. *Verbrennen.*

eingespritzten Wassers das Brennen anstatt zu unterdrücken vielmehr verstärke. Im Allgemeinen genommen scheint hierin ein Widerspruch gegen die Naturgesetze zu liegen, indem man die Sache so ansehen könnte, als wenn das Wasser, ein schon verbrannter Körper, noch einmal verbrannt würde. Dieses ist zwar an sich unmöglich, allein dennoch ist die Sache nicht ganz ohne Grund. Wenn nämlich der Brand bedeutend stark, und insbesondere eine grofse Menge schon verkohlter und noch glühender Balken vorhanden ist, so vermindert sich die Menge des Rauches und der Flammen, deren Aufsteigen das Herbeiströmen frischer Luft und des darin enthaltenen Sauerstoffgas befördert, des letzteren ist nicht genug vorhanden, um sich mit den glühenden Kohlen zu verbinden und Kohlensäure zu erzeugen; das Brennen vermindert sich daher scheinbar wegen der verminderten Flamme, oder es nimmt aus den angegebenen Gründen wirklich etwas ab. Kommt unter diesen Umständen wenig und fein vertheiltes Wasser mit den brennenden Kohlen in Verbindung, so ist allgemein die Quantität desselben so geringe, dafs die brennenden Kohlen durch die zur Verwandlung desselben in Dampf erforderliche, und ihnen entzogene Wärme, nicht unter die Glühhitze abgekühlt werden, und hiernach verlöschen; so vermögen sie das Wasser zu zerlegen, sie eignen sich den Sauerstoff desselben an, und der freigewordene Wasserstoff dient zur Vergröfserung der Flamme hauptsächlich durch das gebildete Kohlenoxydgas. Im Kleinen kann man diesen Procefs leicht darstellen, wenn man in einen mit Kohlen gefüllten und stark ziehenden Ofen etwas Wasser spritzt, wobei sogleich eine starke bläuliche Flamme mit Prasseln aus dem Schornsteinrohre herauszufahren pflegt. Etwas Aehnliches findet statt, wenn man einen Strom Wasserdampf auf eine beträchtliche Menge stark glühender Kohlen leitet. Hierbei ist auf allen Fall, wie schon angegeben, ein scheinbar stärkeres Verbrennen vorhanden, wegen der auffallendern Flamme; es läfst sich aber auch denken, dafs das eigentliche Verbrennen und die erzeugte Hitze zunehme, wenn wirklich alles Wasser zerlegt wird, denn die specifische Wärme des Wassers ist gröfser als die seiner Bestandtheile, und eine Trennung des ersteren in die letzteren müfste also eigentlich mit Wärmeerzeugung verbunden seyn [1]. Dieser Gegenstand

1 Vgl. Scholz Physik 2te Aufl. S. 284. Gay-Lüssac in Ann. Ch. Ph. I. 214.

hängt übrigens mit der Wärmelehre überhaupt so innig zusammen, dafs er erst dort zur näheren Untersuchung kommen kann. Das Phänomen an sich ist einmal richtig, ob aber das eigentliche Brennen und die durch das Feuer erzeugte Hitze durch eine geringe Quantität fein vertheilten Wassers wirklich vermehrt werde, ist durch die Erfahrung noch nicht ausgemittelt.

In Beziehung auf die Quantität des zur Feuerlöschung erforderlichen Wassers ist insbesondere der zwischen v. Marum und Decroizilles hierüber geführte Streit in der physikalischen Literatur einer Beachtung werth. v. Marum stellte nämlich den Satz auf, dafs bei Feuersbrünsten meistens eine ganz unnöthige Wasserverschwendung statt finde, wodurch manches an Häusern und Geräthen zerstört, die Arbeit unnöthig erschwert, und leicht an andern gleichfalls brennenden Stellen Mangel an Wasser herbeigeführt werde. Um aber zu beweisen, dafs es nicht sowohl auf die Quantität des Wassers als vielmehr auf die zweckmäfsige Verwendung desselben ankomme, liefs v. Marum in wiederholten Versuchen ein Häuschen bauen, bedeckte dieses mit drei Schichten Stroh, machte zwei Oeffnungen als Luftzüge in demselben und zündete es an. Nachdem es vier Minuten gebrannt hatte, wurde das Wasser dagegen gespritzt, und die Löschung schnell mit 5 Eimern Wasser in drei Minuten bewerkstelligt, obgleich die Balken 1,5 Z. tief versengt waren[1].

Gegen die Resultate dieser Versuche erklärte sich Decroizilles[2] deswegen, weil bei denselben nur die Oberfläche des Holzes und insbesondere die leichtverbrennlichen Substanzen in Flammen gestanden hätten, wobei allerdings nur wenig Wasser zum Löschen erfordert werde. Ganz etwas anders aber ergäbe sich, wenn das Holz bis zu einer bedeutenden Tiefe verkohlt sey, in welchem Falle bei weitem eine gröfsere Masse Wassers erfordert werde, eine kleinere aber leicht Vermehrung des Brennens durch Zersetzung des Wassers in seine Bestandtheile veranlassen könne. Zur Unterstützung dieser Behauptung führt er die Ergebnisse einiger Versuche an, welche zu Rouen angestellt wurden. Ein Künstler aus Paris wollte nämlich zeigen, wie er mit einem eigenthümlichen feuerlöschenden Wasser leicht

---

1 Voigt Mag. I. 2. 120. Gren. N. J. III. 134. IV. 152. G. XXIII. 313.

2 Ann. de Chim. LI. 27. Vergl. LIV. 104.

die gröſste Flamme unterdrücken könne, und dieses gelang auch wiederholt. Als aber die Commissarien zur Prüfung der Sache verlangten, daſs das eigends für diesen Zweck erbauete, mit Stroh gefüllte und mit Pech angestrichene Haus, nachdem die erst stark rauchende, dann helllodernde Flamme der leicht brennbaren Stoffe sehr vermindert, nachher aber das Holz bis etwa einen Zoll tief völlig verkohlt war, gelöscht würde, wandte er mehr als die zehnfache Quantität seines vorher gebrauchten Löschwassers an, und dennoch brannte das Haus völlig ab. v. Marum hat sich gegen diese Einwürfe vertheidigt, und darzuthun gesucht, daſs in seinen wiederholten Versuchen nicht bloſs die leicht verbrennlichen Substanzen vom Feuer ergriffen gewesen, sondern auch das Holz bis zu einer bedeutenden Tiefe verkohlt worden sey, welchen Einwendungen Decroizilles die seinigen wieder entgegengesetzte; kurz der Streit wurde nicht ohne Leidenschaftlichkeit geführt, die Sache selbst aber nicht zur endlichen Entscheidung gebracht, welches durch einige eben so leichte als entscheidende Versuche ohne Schwierigkeit zu erreichen war. Decroizilles leugnete nämlich die Resultate der Versuche v. Marum's nicht, welche in Holland und in Deutschland so viel Aufsehen erregt hatten, behauptete aber, vollkommen glühende Kohlen oder völlig verkohlte Balken könnten nicht mit so wenigem Wasser gelöscht werden, als v. Marum gefunden haben wollte, und hierin hatte er wohl ohne Zweifel schon in sofern Recht, als völlig verkohlte und bis in ihr Innerstes glühende Balken sich durchaus voll Wasser saugen müssen, wenn nicht die Hitze aus dem Innern das äuſsere benetzende Wasser verdampfen und die Entzündung aufs Neue beginnen soll. Die ganze Sache kam also auf die Entscheidung der Frage an: *Wie viel Wasser eine vollkommen glühende Kohle zum sicheren Verlöschen bedürfe.* Da mir keine Versuche hierüber bekannt sind, so beschloſs ich selbst einige anzustellen, welche zwar in Beziehung auf Feuersbrünste nur genäherte Resultate geben, im Ganzen aber zur Entscheidung der Sache dienen können. Bei wirklichen Feuersbrünsten nämlich sind die Bedingungen nachtheiliger, als im Experimente, indem dort die glühenden Kohlen oft auf und neben glühenden Steinen, oder auf dem stark erhitzten Boden liegen, deren nachhaltende Hitze einen Theil des Wassers verdampfen und das Glühen nach der Löschung wieder herbeiführen kann. Die folgenden Resul-

tate sind die Extreme einer Reihe von Versuchen, welche mir am einfachsten zur Entscheidung der Sache zu führen scheinen. Ich nahm vollkommen glühende Kohlen von etwa 1 Zoll dick, 2 Zoll breit und 3 bis 4 Zoll, auch noch wohl etwas darüber, lang, mit einer Zange schnell aus dem Feuer, blies die daran hängende Asche ab, und löschte sie mit einer gewogenen Quantität reinen Wassers aus, ehe die ohnehin schmalen Enden der Zange sie merklich abkühlen konnten. Weil ich hierbei keinen Tropfen des gebrauchten Wassers verlor, so gab der Unterschied einer vorher und nachher angestellten Wägung genau die Menge des zum Auslöschen erforderlichen Wassers. Das Auslöschen geschah theils so, dafs die gebrauchten Kohlen zwar allezeit noch heifs blieben und dampften, jedoch waren sie entweder so stark benetzt, dafs man sie mit dem Finger auswärts berühren konnte, und sie sich zuverlässig nicht wieder durch ihre eigene Hitze und ohne einen von Aufsen einwirkenden glühenden Körper entzündet haben würden, oder sie blieben noch so heifs, dafs man sie nicht berühren konnte, und sie sich in Menge auf einem heifsen Boden aufgehäuft vermuthlich oder wohl sicher wieder selbst entzündet haben würden, obgleich sie für den Augenblick und der kalten Luft ausgesetzt völlig erloschen waren und blieben. Den Bedarf des Wassers für den ersten Fall nenne ich den gröfsten, für den letzteren den kleinsten. Nachdem die Kohlen völlig erkaltet waren und sich im Wasser ganz vollgesogen hatten, wodurch nach Messungen sowohl als auch der Art des Experimentes gemäfs sich ihr Volumen nicht ändern konnte, so senkte ich sie in Wasser herab, und bestimmte hierbei den Gewichtsverlust. So wie nun jenes obere Gewicht das Volumen des zum Auslöschen der Kohlen erforderlichen Wassers angiebt, so ist das letztere dem Volumen der Kohlen gleichfalls direct proportional. Für das Maximum betrug das Gewicht des Wassers 11,58 Grammes, das der Kohle 45,45; für das Minimum jenes 9,89 des Wassers und 52,86 der Kohle, zwischen welchen beiden Resultaten alle die aus anderen Versuchen erhaltenen in der Mitte lagen. Hiernach also bedürfen völlig glühende Kohlen zum Auslöschen in Maximo $\frac{1158}{4545}$ oder nahe $\frac{1}{4}$, in Minimo aber $\frac{989}{5286}$ oder nahe $\frac{1}{5}$ ihres Volumens an Wasser. Man darf hiernach also annehmen, dafs im Mittel etwa der fünfte Theil des Volumens der durchaus glühenden Kohlen an Wasser erforderlich ist, um sie vollständig auszulöschen.

Wenn gleich diese Resultate sehr entscheidend für die Behauptung von Decroizilles sprechen, so ist doch zugleich wohl zu berücksichtigen, daſs die Feuerlöschung in vorkommenden Fällen der Regel nach nicht dann anfängt, wenn eine bedeutende Menge des Holzes völlig verkohlt ist, denn alsdann pflegt das Haus schon in sich selbst zusammengestürzt zu seyn, die Löschung wird überflüssig und die Aufmerksamkeit ist mehr darauf gerichtet, die weitere Verbreitung des Feuers zu verhüten. Meistens beginnt vielmehr die Feuerlöschung dann, und wird am ernstesten betrieben, wenn die leicht brennbaren Sachen in hellen Flammen stehen, und daſs für diese Fälle die Regeln v. Marum's gelten, geht sowohl aus dessen eigenen Versuchen hervor, als auch aus denen, welche Decroizilles ihnen entgegengestellt hat. Man kann diesemnach als sichere Regel annehmen, daſs die Quantität des erforderlichen Wassers so viel gröſser seyn muſs, je tiefer und allgemeiner das Holzwerk der brennenden Gebäude bereits verkohlt ist. Im Allgemeinen ist es ferner gewiſs richtig, daſs ein Feuer in seinem Beginnen durch eine zweckmäſsig angebrachte geringe Quantität Wasser leicht gelöscht werden kann. Auf diesen Grund und die Resultate der Versuche ist denn auch Parrot's[1] Vorschlag gestützt, sich zum Löschen des Feuers gemeiner Besen mit nassen Tüchern umwickelt und an langen Stäben befestigt zu bedienen, welche in geeigneten Fällen ganz nützlich sind, im Allgemeinen aber die Feuerspritzen und sonstigen Löschapparate nicht ersetzen können, und überhaupt wegen ihrer nicht überall paſslichen, im Ganzen aber unbeholfenen Länge von 8 bis 15 F. schon manches wider sich haben. Ich möchte hier des praktischen Nuzzens wegen überhaupt noch in Erinnerung bringen, daſs manches Unglück durch Feuer angerichtet wird, welches durch mehr Besonnenheit und Benutzung der unmittelbar zur Hand seyenden Mittel hätte verhütet werden können. Oft läſst sich ein beginnender Brand in einem Zimmer z. B. durch eine einzige Flasche Wasser im Entstehen unterdrücken, und auſserdem ist es nicht bloſs Wasser, welches brennende Gegenstände löscht, sondern die letzteren können nicht weiter brennen, wenn man sie sofort nur mit beliebigen Substanzen völlig überdeckt. Solche Mittel könnten oft namentlich dann angewandt werden,

1 Entretiens sur la Physique Dorp. 1820. III. 172.

wenn Damen ihre eigenen Kleider am Camine anzünden und in manchen ähnlichen Fällen. *M.*

Feuerkugel.

Bolis, globus ardens; Bolide, Globe de feu; *Fire ball.* So nennt man diejenigen Meteore, die zuweilen plötzlich entstehend, einer feurigen Kugel gleichend, durch die Luft ziehen. Man nannte sie ehemals auch feurige Drachen, fliegende Drachen, und machte sich sonderbare Vorstellungen von ihnen.

Beobachtungsmethode und Berechnung ihrer Lage.

Da die Feuerkugeln gewöhnlich nur Nachts und bei heiterem Himmel gesehen werden, so bestimmt man ihren scheinbaren Ort am besten nach den Sternen, bei welchen sie vorbeiziehen. Wer sich das Verdienst erwerben will, Beiträge zu der wichtigen Entscheidung der Frage, in welchen Höhen die Feuerkugeln entstehen und fortziehen, zu liefern, der muſs seine Aufmerksamkeit auf diese Bestimmung des scheinbaren Ortes sogleich, indem er die Erscheinung sieht, richten. Sind keine Wolken am Himmel, und kennt man die Sternbilder zureichend, so kann man den ganzen Weg von Stern zu Stern verfolgen, welchen die Feuerkugel durchläuft; und obgleich dieses auch bei sehr guter Sternkenntniſs, wegen der Schnelligkeit des Fortrückens nicht ganz leicht ist, so kann es doch meistens genau genug geschehen, um die Höhe zu bestimmen, wenn von mehreren nicht zu nahen Orten Beobachtungen verglichen werden können. Ist der Himmel nicht wolkenfrei, so daſs man die Feuerkugel nur zwischen Wolken hervorkommen sieht, oder kennt der Beobachter nicht Sterne genug, um den Weg der Feuerkugel mit Hülfe der Sterne anzugeben, und in die Sterncharten einzuzeichnen, oder erscheint die Feuerkugel am Tage, so muſs man sich, um ihren scheinbaren Ort, so gut es dann möglich ist, anzugeben, den Ort, wo man sich selbst befindet, genau bemerken, und sich den Gegenstand merken, vertical über welchem die Erscheinung in ihrem Anfangs- oder Endpuncte stand; kehrt man dann mit einem Compaſs oder Winkelmesser zu eben dem Orte zurück, so kann man das *Azimuth*

in welchem man die Erscheinung wahrnahm, sicher bestimmen; in Hinsicht auf die scheinbare Höhe wird man sich in diesem Falle oft mit unsicherer Schätzung begnügen müssen, die man jedoch auch berichtigen kann, wenn man an demselben Puncte ein Winkel-Instrument nach der Höhe richtet, wo man, so weit die Erinnerung es anzugeben verstattet, die Erscheinung gesehen hatte. Die gewöhnlichen Angaben, die die Höhe der Feuerkugeln nach Häuserhöhen, ihre Gröſse nach Fuſsen und die Länge ihrer Schweife nach Vergleichung mit der Länge einer Straſse oder dergleichen bestimmen, sind eben so lächerlich und Unwissenheit verrathend, als sie nutzlos sind. Wenn man von zwei Orten hinreichend genaue Beobachtungen hat, nach welchen Richtungen in Beziehung auf den Horizont das Phänomen gesehen worden ist, so kann man den Ort angeben, wo es im Zenith gestanden hat. Zu diesem Zwecke nimmt man eine Landcharte, auf welcher sich jene zwei Beobachtungsorte, die ziemlich entfernt von einander seyn müssen, befinden, und zieht von jedem derselben, Linien in der Richtung gegen den Meridian, welche, der eine und der andere Beobachter als Azimuth des Phänomens angegeben haben. Der Punct, wo diese sich auf der Landcharte schneiden, bezeichnet den Ort, wo die Erscheinung im Zenith stand, und wenn einer der Beobachter zugleich die scheinbare Höhe angegeben hat, so kann man die wirkliche Höhe über der Erde gleichfalls finden. Mit dieser einfachen Bestimmung muſs man sich oft begnügen, wenn die Beobachtungen keine groſse Genauigkeit gestatten.

Die genauere Berechnung der Höhe läſst sich auf folgende Weise erhalten, wenn der scheinbare Ort am Himmel von zwei ziemlich weit von einander entfernten Beobachtern mit zureichender Genauigkeit angegeben ist. Die Angabe wird immer am besten mit Hülfe der Sterne gemacht werden, und man wird daher die gerade Aufsteigung und Abweichung des Punctes, wo das Meteor erschien, kennen; man muſs aber auch die Zeit möglichst genau kennen, um die Stellung der Sterne gegen den Meridian für den gegebenen Augenblick richtig zu wissen. Diese Stellung der Himmelskugel kennt man, indem man die gerade Aufsteigung des Meridians oder der Mitte des Himmels weiſs, welche durch Bestimmung der Zeit, die man leicht auf Sternzeit zurückführt, erhalten wird.

Wenn man den scheinbaren Ort durch die gerade Auf-

steigung und die Abweichung angegeben hat, so erhält man aus der Rechnung sogleich den Ort der Feuerkugel in geographischer Länge und Breite. Die beiden durch beide Beobachtungspuncte gelegten, auf die Ebene des Aequators senkrechten Ebenen, deren Richtung durch die Rectascension bestimmt wird, geben nämlich einen Durchschnitt, welcher die geographische Länge des Ortes, wo die Erscheinung im Zenith stand, bestimmt.

Fig. 40.

PMN stelle die Erde, A den einen, B den andern Beobachtungsort vor, X sey das beobachtete Meteor. Da NQM die Ebene des Erd-Aequators vorstellt, und APC, BPC Ebenen senkrecht auf den Aequator durch jeden der beiden Orte gelegt, so stellen a, b, die Projectionen beider Beobachtungsorte, x die Projection des Meteors auf die Ebene des Aequators vor, indem Aa, Bb, Xx, Linien senkrecht auf den Aequator sind. Hier erhellet nun leicht, daſs aCb der Längenunterschied beider Beobachtungsorte ist, und daſs die Linien ax, bx eben die Winkel mit Ca, Cb, machen, welche der Beobachter als Unterschied der Rectascension seines Meridians und des von ihm gesehenen Meteors aufgezeichnet hat; denn alle Puncte der Ebene AaXx erscheinen dem Beobachter in A unter gleicher gerader Aufsteigung, und PAaC ist die Ebene seines Meridians. Es sey nun A' die gerade Aufsteigung des Meridians im Puncte B zur Zeit der Beobachtung, a' die scheinbare Rectascension des Meteors für B, so ist $xbL = a' - A'$, und wenn die geographische Breite des Ortes $B = B'$, der Abstand derselben vom Centro der Erde $= R'$ ist, $Cb = R' \operatorname{Cos} B'$; $Bb = R' \operatorname{Sin} B'$. Haben A'', a'', B'', R'' eben die Bedeutung für den Punct A, so ist $(A'' - A')$ der Längenunterschied beider Orte und man hat

$$Cx = \frac{Cb \,.\, \operatorname{Sin}(a' - A')}{\operatorname{Sin} bxC}, = \frac{Ca \,.\, \operatorname{Sin}(a'' - A'')}{\operatorname{Sin} axC};$$

also wenn x die Rectascension der Mitte des Himmels für die Puncte Xx, oder $x - A' = xCb =$ dem geographischen Längenunterschiede der Orte X, B, ist, also $xCa = x - A'$, so erhalt man

$$Cx = \frac{R' \operatorname{Cos} B' \,.\, \operatorname{Sin}(a' - A')}{\operatorname{Sin}(a' - x)} = \frac{R'' \,.\, \operatorname{Cos} B'' \,.\, \operatorname{Sin}(a'' - A'')}{\operatorname{Sin}(a'' - x)},$$

und daraus

$$\operatorname{Sin} a'' \operatorname{Cos} x \,.\, R' \operatorname{Cos} B' \,.\, \operatorname{Sin}(a' - A') - \operatorname{Sin} a' \operatorname{Cos} x \,.\, R'' \operatorname{Cos} B'' \operatorname{Sin}(a'' - A')$$
$$= \operatorname{Cos} a'' \operatorname{Sin} x \,.\, R' \operatorname{Cos} B' \operatorname{Sin}(a' - A') - \operatorname{Cos} a' \operatorname{Sin} x \,.\, R'' \operatorname{Cos} B'' \,.\, \operatorname{Sin}(a'' - A'');$$

also

$$\text{Tang}\, x = \frac{R' \text{Cos} B' \text{Sin} a'' \text{Sin}(a' - A') - R''. \text{Cos} B'' \text{Sin} a' \text{Sin}(a'' - A'')}{R' \text{Cos} B' \text{Cos} a'' \text{Sin}(a' - A') - R''. \text{Cos} B'' \text{Cos} a'' \text{Sin}(a'' - A'')}.$$

Da hiermit der Längenunterschied zwischen dem Orte des Meteors und dem einen oder andern Beobachtungsorte gegeben ist, so kennt man alle diejenigen Orte, denen das Meteor im Meridian erschien.

Um auch die geographische Breite des Ortes, wo es im Zenith erschien, zu finden, ziehe ich Bv mit bx, Aw mit ax parallel, also beide mit der Ebene des Aequators parallel, und nun ist $XBv = b'$, die scheinbare Declination des Meteors in B, weil die Linie Bv nach Puncten im Aequator des Himmels zu geht; eben so $XAw = b''$ die scheinbare Declination in A. In dem auf dem Aequator gezeichneten Dreiecke bCx ist auch

$$bx = \frac{Cb \,.\, \text{Sin}\, xCb}{\text{Sin}\, Cxb} = \frac{R'. \text{Cos} B' \text{Sin}(x - A')}{\text{Sin}(a' - x)}$$

und eben so $ax = \frac{R''. \text{Cos} B'' \text{Sin}(x - A'')}{\text{Sin}(a'' - x)}$,

zugleich aber ist $ax = Aw$ und $bx = Bv$,
$wX = Aw \,.\, \text{Tang}\, b''$; $vX = Bv \,.\, \text{Tang}\, b'$,
also $xX = R'. \text{Sin} B' + \frac{R' \text{Cos} B' \text{Sin}(x - A') \text{Tang}\, b'}{\text{Sin}(a' - x)}$

und Tang XCx = Tang der geographischen Breite des Ortes, wo das Meteor im Zenith stand

$$= \frac{xX}{Cx} = \frac{\text{Tang}\, b'. \text{Sin}(x - A') + \text{Tang}\, B'. \text{Sin}(a' - x)}{\text{Sin}(a' - A')}$$

oder auch $= \frac{\text{Tang}\, b''. \text{Sin}(x - A'') + \text{Tang}\, B'' \text{Sin}(a'' - x)}{\text{Sin}(a'' - A'')}$.

Dieser doppelte Werth entsteht daher, weil vier gegebene Bestimmungen, zwei Rectascensionen und zwei Declinationen, mehr als zureichend sind, um die drei gesuchten Stücke geographische Länge und Breite des Ortes, wo das Meteor im Zenith stand, und Höhe des Meteors zu bestimmen. Jene doppelte Bestimmung für y oder die geographische Breite kann einigermaſsen als Versicherung über die Zuverlässigkeit der Beobachtung dienen; denn wenn beide Werthe auffallend verschieden wären, so könnte man der Beobachtung nicht viel Vertrauen schenken. Aus dem bisherigen findet man nun auch die Ent-

fernung vom Mittelpuncte der Erde $CX = \varrho = \frac{Cx}{\mathrm{Cos}\, y}$

$$= \frac{R' \,\mathrm{Cos}\, B' . \mathrm{Sin}\, (a' - A')}{\mathrm{Cos}\, y . \mathrm{Sin}\, (a' - x)}.$$

Es ist zuweilen angenehm, auch die Entfernung von beiden Beobachtern zu bestimmen, indem sich darnach entscheiden läfst, welcher von beiden die Erscheinung am gröfsten sehen mufste. Man findet aber

$$BX = Bv . \mathrm{Sec} . b' = \frac{R' \,\mathrm{Cos}\, B' \,\mathrm{Sin}\, (x - A')}{\mathrm{Cos}\, b' . \mathrm{Sin}\, (a' - x)};$$

und $AX = \frac{R'' \,\mathrm{Cos}\, B'' \,\mathrm{Sin}\, (x - A'')}{\mathrm{Cos}\, b'' . \mathrm{Sin}\, (a'' - x)}$.

Diese Formeln bestimmen alles, was man zu wissen verlangt; aber sie geben nicht ganz bestimmt den Grad der Zuverlässigkeit der Beobachtungen an. Wenn die Beobachtungen ganz vollkommen genau wären, so schnitten AX, BX sich wirklich in dem Puncte, wo das Meteor lag, und beide Werthe von y würden strenge mit einander übereinstimmen; aber so genau sind die Beobachtungen vielleicht nie, und indem jeder der beiden Beobachter eine etwas verschiedene Richtungslinie angiebt, als die genau nach dem Meteor gezogene, so schneiden diese beiden Richtungslinien sich in den meisten Fällen gar nicht. Obgleich nun aus zwei nicht genauen Beobachtungen sich überhaupt keine scharfen Resultate erhalten lassen, so setzt man doch mit der meisten Wahrscheinlichkeit den wahren Ort des Phänomens dahin, wo die zwei angegebenen Gesichtslinien einander am nächsten kommen, und der kleinste Abstand beider giebt zugleich an, wie viel ungefähr die Beobachtungen fehlerhaft gewesen seyn mögen; denn obgleich auch durch Zufall selbst fehlerhaft angegebene Gesichtslinien nahe an einander vorbei gehen, und einander in einem Puncte am nächsten seyn können, der nicht eben der ist, wo das Meteor sich befand, so ist doch die Wahrscheinlichkeit immer dafür, dafs der Punct der gröfsten Nähe beider Linien nahe mit dem Puncte zusammenstimmt, auf welchen die Beobachtung gerichtet war, und dafs ein nahes Zusammentreffen Folge der Richtigkeit der Beobachtung ist. Da ich die allgemeine Bestimmung dieses Punctes des kleinsten Abstandes beider angegebenen Gesichtslinien anderswo

ausführlich mitgetheilt habe[1], so will ich hier nicht dabei verweilen.

Genauere Beschreibung der Erscheinungen.

Die Nachrichten von einzelnen Feuerkugeln sind so zahlreich, dafs es unmöglich ist, von allen merkwürdigen Beobachtungen hier etwas mitzutheilen; ich setze nur einige der wichtigsten bekannten Beobachtungen hierher, um zu zeigen, welche Erscheinungen die Feuerkugeln darbieten. 1676 am 31. März anderthalb Stunden nach Sonnenuntergang ward eine von Dalmatien her, über das Adriatische Meer, über Italien weg und in der Richtung nach Corsica gehende Feuerkugel in Italien und Deutschland beobachtet. Man hörte bei ihrem Fortziehen ein zischendes Geräusch, und bei ihrem Zerspringen oder bei ihrem Eintauchen in das Meer ein Getöse, wie von Wagen, die auf Steinpflaster fahren. Alle Gegenstände wurden, wie bei Tage, erleuchtet; die Kugel zeigte sich so grofs als der Vollmond mit einem zugespitzten Schweife, der anfangs roth, nachher blau war. Die Höhe ist, so gut es die Beobachtungen erlaubten, zu 38 italien. Meilen angegeben, die Höhe war aber, wie Chladni bemerkt, wahrscheinlich gröfser. Die Geschwindigkeit ward zu $2\frac{1}{4}$ italienische Meilen in der Secunde angegeben, und ihre Richtung war, wie Halley bemerkte[2], der Richtung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn entgegengesetzt.

Die am 19. Juli 1686 in Sachsen von Kirch beobachtete Feuerkugel, deren Höhe Halley, auf Beobachtungen in Leipzig und Schleitz gestützt, zu 30 englischen oder 7 bis 8 deutschen Meilen angiebt, scheint sich dadurch ausgezeichnet zu haben, dafs sie ihren Ort nicht viel veränderte, obgleich sie 7 Minuten sichtbar blieb. Halley bemerkt indefs[3], selbst nach Kirch's eigenen fernern Angaben sey sie nicht vollkommen ruhend erschienen. Diese geringe Bewegung mufste wohl daher kommen, dafs sie ziemlich genau die Geschwindigkeit wie die Erde selbst hatte, und daher als relativ ruhend erschien.

Die Feuerkugel, von welcher Halley die Beobachtungen

1 Brandes's Unterhaltungen für Freunde der Physik und Astronomie. Leipzig 1826. 1. Heft.

2 Phil. Tr. Vol. XXIX. p. 161.

3 Ebend. p. 163.

gesammelt hat, 1719 am 19. März, soll fast der Sonne gleich geleuchtet haben; sie selbst hatte ein weißses, der Schweif ein rothes Licht. Nach dem Erlöschen, das mit zwei Explosionen begleitet war, blieb ein helles Wölkchen und ein Lichtstreif zurück. Nach HALLEY's Berechnung war sie über Worcester in 16 deutschen Meilen Höhe, und ging 5 engl. Meilen in einer Secunde von Nord gen Ost gegen Süd gen West fort[1].

Die am 11. Dec. 1741 im südlichen England erschienene Feuerkugel ist vorzüglich dadurch merkwürdig, daſs sie bei hellem Sonnenschein um 1 Uhr Mittags gesehen wurde. Ihr Licht wird von dem einen Beobachter wie eine feurige Kohle, von MILNER dagegen, der in allen seinen Ausdrücken am meisten Sachkenntniſs zeigt, völlig so hell als der Mond erscheint, wenn man ihn mit der Sonne zugleich am Himmel sieht, beschrieben. Sie erschien in Peckham etwas gröſser als der Vollmond, bewegte sich nicht ganz so schnell als die Sternschnuppen fortzugehen pflegen; sie lieſs einen Schweif zurück, der weiſser, als die Feuerkugel selbst, erschien, und dieser war anfangs schmal, an beiden Enden zugespitzt, aber nach und nach wurde er breiter und nach 20 Minuten zeigte sich dieser Ueberrest der Erscheinung ganz einer hellen, dünnen Wolke gleich, die etwa dreimal so breit als zu Anfang war und etwas höher über dem Horizonte stand, als gleich nach dem Verschwinden der Kugel. Die Feuerkugel selbst ging von Südwest nach Nordost, ihr Weg ging östlich an der Insel Whight vorbei, ungefähr über die Gegend von Canterbury. Ihre ganze Dauer wird zu 4 Sec. angegeben; sie verschwand mit einem sehr heftigen, doppelten Knalle, von welchem in einigen Gegenden der Grafschaft Sussex und in Canterbury die Häuser erbebten, und dieser Knall scheint nicht bis London hin und nicht bis zur Insel Whight hörbar gewesen zu seyn[2].

Am 26. Mai 1751 um 8 Uhr Abends erschien im Agramer Comitate eine Feuerkugel, aus welcher zwei Eisenmassen herabfielen, deren eine noch jetzt in Wien aufbewahrt wird. Da sie von FEDER etwa 30 Grade hoch in Neustadt an der Aisch gesehen worden ist, so muſste sie gegen 30 bis 40 deutsche Meilen hoch

---

1 Phil. Tr. XXX. 978.

2 Phil. Tr. for 1741. p. 870. 1742. p. 1. 188.

seyn. Sie zersprang mit Krachen, wobei Erschütterung und Verbreitung von Rauch bemerkt ward[1].

1758 am 26. Nov. Abends um 8 Uhr erschien in England eine merkwürdige Feuerkugel. PRINGLE hat die Beobachtungen gesammelt und auf eine sehr passende Weise zusammengestellt, und obgleich nicht alle ganz in Uebereinstimmung sind, so kann man doch folgende Angaben, als im Wesentlichen allen Beobachtungen entsprechend ansehen. Das Meteor muſs in der Gegend von Cambridge zuerst entstanden, oder leuchtend geworden seyn. Dort sah man eine in weiſsem Lichte ungemein hell glänzende Kugel, etwa halb so groſs im Durchmesser als der Mond gegen Nord-Nordwest fortziehen. Als die Kugel noch 6 oder 7 Grade vom Horizont war, schien der Schweif zu zerbersten, wobei das Licht blendend würde: darauf verschwand der Schweif und drei Sterne, die der Kugel folgten, zeigten sich. Der Glanz war so groſs, daſs man eine auf der Erde liegende Nadel hätte sehen können. Die Beobachtungen aus Manchester und Cockermouth in Cumberland bestätigen diese Umstände. In Carlisle sah man keine abgesonderte Kugel, sondern die ganze Masse scheint, als sie in diese Gegend gelangte, kegelförmig, hinten zugespitzt, gewesen zu seyn. Auch hier erschien sie in dem hellsten Glanze. Aus dem hintern Theile des Meteors hat man hier, so wie in Newcastle, Ducham, Dumfries, Funken hervorkommen gesehen, die nach einigen Nachrichten sich beim Herabfallen zerstreuten. Eine Minute nach dem Verschwinden (die Zeitbestimmung ist nicht ganz gleich bei den Beobachtern) hörte man in Carlisle zwei Explosionen gleich nach einander, welche Kanonenschüssen aus $\frac{1}{4}$ deutscher Meile Entfernung gehört, ähnlich waren. Diese Explosion beschreibt ein Beobachter, der 15 engl. Meilen nordöstlich von Carlisle war, als ein furchtbares Krachen, lauter als der stärkste Kanonen-Knall, und sagt, daſs dieses 7 bis 8 Sec. dauerte. Während des Fortziehens der Kugel wollten einige Beobachter ein Zischen gehört haben, da aber andere an eben den Orten es nicht hörten, so hält PRINGLE dieses für Täuschung. Aus den noch nördlichern Gegenden, namentlich aus Stitchill, 15 deutsche Meilen nordnordöstlich von Carlisle wurde berichtet,

---

1 v. ENDE über Massen und Steine, die aus dem Monde auf die Erde gefallen sind. Braunschweig 1803.

dafs man eine ungemein leuchtende Erscheinung gesehen und nachher einen lauten Donner gehört habe, aber einen eigentlichen Körper, der das Licht aussendete, habe man nicht gesehen. PRINGLE glaubt daher, dafs, nachdem das Meteor zwischen Carlisle und Dumfries hin gezogen war, es einige Meilen südlich von Douglas die Veränderung erlitten hatte, welche die Beobachter als ein Abbrechen des Schweifes beschrieben, aus welchem Funken hervorbrachen. Der Hauptheil, in den sich die Ueberreste des Schweifes sammelten, ging dann bis über Fort William, und bei Invernefs mufs das Meteor nach einem Laufe von 400 englischen (90 bis 100 deutschen) Meilen verschwunden seyn. Dennoch scheint dasselbe, obgleich es hier erloschen war, fortgezogen zu seyn und sich noch einmal leuchtend gezeigt zu haben; denn in 58 Grad Breite an der Westküste der Grafschaft Rofs sah man es recht glänzend, doch nicht der Sonne gleich, nach Süden fortziehen (der vorigen Richtung entgegen); das Licht glich dem Lichte des brennenden Weingeistes, die Kugel erschien hier ohne Schweif, und liefs Funken von verschiedener Gröfse und Farbe herabfallen.

Die Beobachtungen zeigten, dafs es oberhalb Cambridge 20 bis 23 deutsche Meilen hoch war, oberhalb Fort William nur 6 bis 8 deutsche Meilen. Die Geschwindigkeit des Meteors mufste über 6 deutsche Meilen in der Secunde seyn[1].

Die am 10. Juli 1771 im nördlichen Frankreich erschienene Feuerkugel ist von LE ROY umständlich beschrieben[2]. Um 10¼ Uhr Abends zeigte sich dieses Meteor anfangs wie eine grofse Sternschnuppe, aber allmälig sah man es, der Annäherung wegen, gröfser; es bewegte sich ungemein schnell und stark gegen die Erde geneigt; seine Form, die anfangs kugelförmig war, ging nachher in die Form eines Glastropfens über, und dabei war der Glanz von der blendendsten Weifse. Der Hauptheil des Meteors war mit Funken umgeben, und der mit Roth umgebene Schweif zeigte sich mit Regenbogenfarben übersäet. Als die Kugel sich schon nicht merklich fortbewegte, nahm sie eine weniger längliche Form an, und schien in der Mitte zu kochen; darauf zersprang sie und zertheilte sich in eine Menge Funken, die so glänzend waren, dafs mehrere Personen es nicht ertragen

---

1 Phil. Transact. Vol. LI. for the Year 1759. p. 218. 259.

2 Hist. et Mém. de l'acad. des sc. à Paris pour 1771. p. 670.

konnten, sie anzusehen. Die ganze Dauer der Erscheinung wurde in Paris nur auf 4 Secunden geschätzt, doch hatte man den Anfang dort nicht beobachtet. Zwei Minuten nach dem Zerspringen hörte man einen Knall, den einige einem entfernten Donner verglichen, andere dem Rasseln schwer belasteter Wagen auf einem Steinpflaster, andere einem einstürzenden Hause. Gegen Melun zu war dieser Knall stärker und man unterschied noch einen zweiten schwächeren. An einigen Orten der Stadt empfand man bei dem Knalle zugleich eine Erschütterung. Eben dieses Meteor war von Amiens, Dieppe, Havre, bis nach Limoges, Lyon, Dijon und selbst in Sarlat an der Dordogne beobachtet worden, und den Knall hatte man von Rouen und Amiens bis südlich von Paris gehört, also durch eine Gegend, die 15 bis 20 deutsche Meilen im Durchmesser hat. Le Roy schliefst aus den gesammelten Beobachtungen, dafs das Meteor zuerst sich in England mufs gezeigt haben, und nach Hornsby's Bericht war es auch in der Gegend von Oxford so grofs als der Mond im Durchmesser und mit einem Schweife gesehen worden. Da es dort südöstlich erschien, so bestätigt diese Beobachtung Le Roy's Meinung, dafs es von der Gegend der Grafschaften Sussex und Surrey über den Canal herüberzog, und von Nordwest ¼ Nord her ungefähr auf Paris und Melun zu seine Richtung nahm. Der Punct seines Zerspringens mufste einige Meilen südsüdöstlich von Paris liegen, etwa 1½ lieues von Melun. Die Berechnung der Beobachtungen, welche Le Roy mit grofsem Fleifse gesammelt hat, ergab, dafs die Feuerkugel zuerst über 41000 Toisen (über 10 deutsche Meilen) hoch war, bei der Explosion aber sich bis zu 20600 Toisen (5 deutsche Meilen) herab gesenkt hatte, und bei dieser Höhe konnte sie sehr gut durch fast ganz Frankreich sichtbar seyn.

Die ganze Dauer des Erscheinens glaubt le Roy doch nicht auf mehr als 10 Secunden setzen zu können und in dieser Zeit durchlief das Meteor etwa 45 deutsche Meilen, 4 bis 5 Meilen in der Secunde. Die Kugel mufste, wenn man auch nur mäfsig rechnet, über 1000 Fufs Durchmesser haben; aber dafs etwas davon auf die Erde gefallen wäre, davon sagt keine Beobachtung etwas.

Ueber eine andere Feuerkugel, die am 18. August 1783 in England erschien, hat Blagden die Beobachtungen gesam-

melt[1]. Diese Feuerkugel wurde von den Shetländischen Inseln bis nach Frankreich und den Niederlanden beobachtet, und eine Nachricht gab an, daſs sie sogar in Rom gesehen wäre. Man sah sie in Aberdeen und zu Blair in Athol von Norden her heraufsteigen, und die Beobachtungen ergeben, daſs sie schon nördlich von der nördlichsten Küste Schottlands entstand; sie ging etwas westlich von Perth und etwas östlich von Edinburgh vorbei, über die westlichen Gegenden von Northumberland, durch die Mitte von Yorkshire etwas westlich von York. Bis dahin ging sie beinahe genau nach Südsüdost fort: aber etwa an der Grenze von Yorkshire und Lincolnshire nahm ihre Bahn eine etwas mehr östliche Richtung, und sie selbst scheint bei dieser Aenderung der Richtung auch eine Explosion oder ein Zerbersten erlitten zu haben. Anfangs nämlich hatte sie sich kugelförmig, alsdann etwas elliptisch und geschweift gezeigt; nach dem Zerbersten ging sie nicht mehr als *eine* Masse fort, sondern als eine Menge von Kugeln, von ungleicher Gröſse, die jede einen Schweif hinter sich zogen; auf diese Weise sah man das Meteor mit ungemeinem Glanze alle Gegenstände erleuchtend, fortziehen, bis man es in England der Entfernung wegen aus den Augen verlor. Diese Sammlung kleiner Meteore scheint südöstlich über Cambridgeshire und die Grenzen von Suffolk fortgegangen zu seyn, dann aber der frühern Richtung gemäſs über Essex und den Canal sich bewegt zu haben. Die Küste von Frankreich muſs das Meteor in der Gegend von Dünkirchen erreicht haben, indem man es dort sowohl als in Calais und Ostende nahe am Zenith sah, und so setzte es seinen Weg noch weiter fort, worüber aber die genaueren Nachrichten fehlen. Dieses merkwürdige Meteor durchlief also 13 bis 14 Breitengrade, also 200 deutsche Meilen. Das Ansehen des Meteors war veränderlich, so daſs Aubert es nicht für einen festen Körper hielt, und sich darin auch durch die, anscheinend etwas wellenartig gekrümmte Linie seines Laufs bestärkt fand. Der Schweif blieb nicht immer gleich, und auch die Hauptmasse war zuweilen rund, zuweilen elliptisch und zuweilen hinten spitz zulaufend. Der Schweif schien bei diesen und andern Meteoren zum Theil aus eben der Materie, wie die Hauptmasse oder der Kern zu bestehen, der übrige, gröſsere

1 Phil. Transact. for 1784. p. 201. 112.

Theil sah aber so aus, als ob er aus dünner zertheilten dunstartigen Theilen bestände. Auch die Farbe des Meteors war veränderlich, aber so sehr bläulich, daſs ein Beobachter den Mond dagegen als in rothem Lichte erscheinend angab. Die Feuerkugel schien kurz vor dem Zerspringen aus hellern und dunklern Theilen zu bestehen, von denen man zu bemerken glaubte, daſs sie in steter Agitation wären. Die Bestimmungen der Höhe scheinen mit vieler Sicherheit zu ergeben, daſs die Feuerkugel ihren ganzen Weg in einer ziemlich gleichen Höhe von 60 englischen (15 deutsche) Meilen über der Erde durchlief. Auch bei diesem Meteore hörte man an einigen Orten einen Knall, und nach Blagden's Meinung mochte wohl bei der ersten Explosion ein Knall statt gefunden haben, und nachher ein zweiter. Den Durchmesser berechnet Blagden zu ½ engl. Meilen oder 2500 Fuſs, gesteht aber, daſs diese Bestimmung unsicher sey, weil Beobachter, deren Standpunct sich in sehr ungleichen Entfernungen von dem Meteor befand, die scheinbare Gröſse dem Durchmesser des Mondes gleich angeben, so daſs der groſse Glanz der Feuerkugel mehr als der eigentliche Sehewinkel die Angabe der scheinbaren Gröſse bestimmt zu haben scheint. Ueberhaupt ist es gewiſs, daſs die Schätzung der Gröſse leuchtender Körper groſser Unsicherheit unterworfen ist, denn wer würde nicht die Breite der Blitzstrahlen, die man Nachts in 2 Meilen Entfernung sieht, wohl auf 2, 3 und mehr Minuten schätzen? — und doch würde ein Blitz von 3 Minuten scheinbarem Durchmesser in 2 Meilen Entfernung 40 Fuſs Durchmesser haben müssen, was gewiſs nicht der Fall ist. Die Dauer dieser Feuerkugel war ungewöhnlich lange; Herschel, der die Erscheinung erst gewahr ward, als die Kugel sich schon in mehrere kleine zertheilt hatte, sah sie 40 bis 45 Secunden und zuletzt fast in demselben Puncte des Himmels still stehend, als sie ihrer Entfernung halber den Meisten schon unsichtbar geworden war. Sie mochte also ihren ganzen Weg von 200 Meilen in 1 Minute zurücklegen.

Die Höhe der am 8. März 1798 in Genf, Lausanne und Chambery beobachteten Feuerkugel, die auch in hellglänzende Funken sich zertheilte, konnte nach Prevost's Berechnung aus ziemlich mittelmäſsigen Beobachtungen nicht viel über 6 Lieues betragen. Die Feuerkugel am 23. Oct. 1805 zeichnete sich durch die sehr lange Dauer ihres Schweifes aus.

Die Dauer der Feuerkugel selbst, die übrigens nicht zu den ungemein grofsen gehörte, setzt SCHRÖTER auf 3 bis 4 Secunden[1], aber nach dem Verschwinden blieb ein heller Lichtstreif sichtbar, von welchem SCHRÖTER sagt, er habe sich mehrere Minuten lang in gerader verticaler Linie völlig fest stehend gezeigt; demnächst aber habe er angefangen, eine veränderliche wellenförmige Linie zu bilden, welche immer stärker gekrümmt wurde; nach etlichen Minuten Zeit habe der Schweif, als ob ein sanfter Windzug ihn gegen Süden fortdrängte, etwas unterhalb seiner Mitte, eine fast halbrunde, mit der convexen Seite nach Süden gerichtete Beugung angenommen, welche mit der concaven Seite η des Hercules in sich schlofs[2]. Diese Beugung dehnte sich immer weiter nach Süden aus, nach 7 Minuten war sie einem S, nachher einer 2 ähnlich; selbst nach 15 Minuten war noch etwas von dem Lichtstreifen, noch weiter nach Süden gerückt, zu erkennen. Da meine eigene Beobachtung, so viel ich mich erinnern kann, noch nirgend bekannt gemacht ist, so sey es mir erlaubt, ihr hier einen Platz zu geben, so wie ich sie damals niedergeschrieben habe. Gegen $7\frac{1}{4}$ Uhr [nach SCHRÖTER war es $7^h\ 14'$] beobachtete ich in Eckwarden 6 Meilen nördlich von Oldenburg eine leuchtende Erscheinung, wie ein matt glänzendes Wölkchen, unter dem Kopfe des Ophiuchus; das Ganze bildet einen 2 förmigen Streifen, der langsam gegen den Poniatowski'schen Stier fortrückte. Der hellste Theil stand nahe über σ des Ophiuchus. Die Erscheinung verlor ihr Licht sehr langsam und noch nach 15 Minuten glaubte ich schwache Spuren davon zu bemerken. Der hellste Theil, der aber jetzt matter glänzte, als vorhin der schwächste Theil, stand zwischen p und o des Poniatowski'schen Stiers und ein sehr matter Streif zog sich gekrümmt nach α des Ophiuchus zu. Als ich das Phänomen zuerst sah, war es den gewöhnlichen zurückbleibenden Schweifen der Sternschnuppen ähnlich; der helle Fleck aber, der oberhalb σ etwas seitwärts nach $\varkappa$ i zu stand, unterschied sich davon. Nach meiner und SCHRÖTER's Beobachtung, indem ich den wenig von σ entfernten von mir beobachteten Punct als den Endpunct ansehe,

---

1 Gilb. XXIII. 107.

2 Diese Angabe ist gewifs ein Druckfehler, denn η Herc. steht so weit nördlich, dafs er unmöglich gemeint seyn kann.

verschwand diese kleine Feuerkugel senkrecht über der Provinz Gröningen in einer Höhe von 6 Meilen, wobei freilich die Unsicherheit erheblich ist, da ich nicht den eigentlichen Ort des Verschwindens gesehen hatte. Die Düsseldorfer Beobachtung, (die nicht von BENZENBERG selbst angestellt worden) ist offenbar nicht genau genug, um darauf eine Berechnung zu gründen [1].

Das am 14. Dec. 1807 Morgens in Connecticut gesehene Meteor war im Allgemeinen den oben beschriebenen ähnlich; es war kaum halb so groſs im Durchmesser als der Mond, und hatte einen Schweif, dessen Länge dem 10 bis 12 maligen Durchmesser der Kugel gleich war. Ein Beobachter in Weston, in dessen Zenith ungefähr das Meteor verschwand, giebt an, daſs das Verschwinden nicht ganz plötzlich statt fand, sondern ein zwar schnelles, aber doch durch merkliche Unterschiede fortschreitendes Abnehmen des Lichtes beobachtet wurde. Die ganze Erscheinung dauerte etwa 30 Secunden und 30 bis 40 Secunden nachher hörte man einen heftigen Knall, dem noch eine Reihe schwächerer Detonationen folgte. Das Phänomen war dem Monde so ähnlich, daſs eine Dame, die es gesehen hatte, sagt, ihr erster Gedanke bei dieser Erscheinung sey gewesen, wo denn der Mond so schnell hin wolle. Ein anderer Beobachter bemerkt, das Verschwinden sey mit drei heftigen Bewegungen, wie Sprüngen, begleitet gewesen, bei jedem sey das Licht schwächer geworden, und beim dritten ganz verschwunden. Die Berechnung von BOWDITCH zeigt, daſs das Meteor sich ziemlich parallel mit der Erdoberfläche in einer Höhe von 4 deutschen Meilen fortbewegte; es durchlief ein von Norden nach Süden gerichtete, wenig nach Westen abweichenden Weg mit einer Geschwindigkeit von 4 Meilen in jeder Secunde.

Bei dem Erscheinen dieses Meteors fiel eine Masse, die 225 Pfunde wog, aus der Luft, und nach BOWDITCH's Meinung konnte dieses doch nur der unbedeutendste Theil des Meteors seyn, dessen Durchmesser nach den Angaben, die ihn am kleinsten geben, gegen 500 Fuſs betragen muſste [2].

---

1 Ich hatte meine Beobachtung in der Hoffnung, auch die nachherigen Aenderungen der Stellung des Schweifs zu berechnen, genau niedergeschrieben; aber ich habe keine andere dazu zureichende Beobachtung gefunden.

2 Astronomische Zeitschrift von v. Lindenau und v. Bohnenberger. I. 137.

Am 15. Juni 1821 sah man bei dem Herabfallen eines Meteorsteines von 220 Pfunden in der Nähe von Juvenas, nicht weit von Viviers eine Feuerkugel. Obgleich es um 3 Uhr Nachmittags war, so sahen dennoch einige Beobachter die Erscheinung glänzend genug, um sie als Feuerkugel anzuerkennen, und auch der Knall, von welchem die Erscheinung begleitet war, stimmte ganz mit dem überein, was man bei Feuerkugeln beobachtet hat. Diese Feuerkugel liefs auf der durchlaufenen Bahn einen grauen Dunst zurück, der wie ein langes Band mit nur schwachen Zickzacks am Rande erschien, eine Art von Rauch, welcher die Farbe der Wolken hatte, und in so völliger Ruhe war, dafs man ihn noch nach 10 Minuten wahrnahm, ohne dafs er seine Stelle und Gestalt merklich änderte. Da es heller Sonnenschein war, so kann man sich leicht denken, dafs ein so matt leuchtender Schweif, wie wir ihn aus den nächtlichen Beobachtungen kennen, wohl als blofse Wolke erscheinen konnte.

Die hier mitgetheilten Beobachtungen geben hinreichend an, wie die Feuerkugeln sich gewöhnlich zeigen. Bei einigen, z. B. bei der am 12. Nov. 1799, hat man ein Entstehen aus sich durchkreuzenden Lichtstrahlen beobachtet, und noch auffallender mufs ein ähnliches Hervorgehen einer Anfangs kleinen, nachher bedeutend grofs werdenden Feuerkugel aus Feuerstreifen bei der am 23. Aug. 1812 gewesen seyn. Andere Feuerkugeln scheinen aus einer wolkenähnlichen Erscheinung entstanden zu seyn doch so dafs man diese Wolken nicht mit gewöhnlichen Wolken für einerlei halten konnte [1].

Endlich mufs ich doch auch noch erwähnen, dafs man zur Zeit von Stürmen und ungewöhnlich tiefem Barometerstande mehrmals Feuerkugeln gesehen hat, unter denen mir aber keine bekannt ist, die genau genug beobachtet wäre, um ihre Höhe mit Sicherheit bestimmen zu können, so dafs es zweifelhaft bleibt, ob diese Feuerkugeln mit den vorigen ganz einerlei sind [2].

---

1 Chladni über Feuermeteore und über die mit denselben herabgefallenen Massen. Wien, 1819. wo man alle Nachrichten von Feuerkugeln gesammelt findet.

2 Brandes de repentinis variationibus in pressione aëris observatis. p. 41.

Meinungen über die Natur dieser Meteore.

Die älteren Meinungen, daſs die aus der Erde aufsteigenden schweflichen Dünste sich entzünden und die Erscheinung der Feuerkugeln darbieten, verdient kaum noch angeführt zu werden. Auch die Meinung, daſs die Feuerkugeln elektrische Funken, oder daſs sie Entzündung brennbarer Luft sind, haben zu wenig für sich, um bei ihnen zu verweilen; denn obgleich es möglich wäre, daſs unter den vielen leuchtenden Erscheinungen, die wir über uns sehen, einige, den Feuerkugeln ähnliche, elektrischen Ursprungs wären, so kann dieses doch für die, welche über ganze Länder, hundert Meilen weit fortziehen, gewiſs nicht passen.

Die Meinung, daſs diese Meteore im Weltraume schwebende Massen sind, denen die Erde in ihrem Laufe um die Sonne begegnet, hat zwar Halley schon ausgesprochen, aber Chladni hat dennoch das Verdienst[1] diese wenig beachtete, und ganz vergessene Meinung, zu einer Zeit, wo man sie verlachte, mit guten Gründen vertheidigt zu haben, und obgleich auch durch sie nicht alle Umstände erklärt werden, so hat sie doch durch das in neuern Zeiten genauer beobachtete Herabfallen der Meteorsteine, welches mit dem Erscheinen von Feuerkugeln verbunden war, eine solche Bestätigung erhalten, daſs der Hauptumstand, nämlich: daſs die Feuerkugeln nicht auf der Erde entstehen, sondern aus fremden, in unsere Atmosphäre eintretenden Massen, die hier leuchtend werden und nach ihrem Erlöschen Meteorsteine (zuweilen auch andere Massen) herabfallen lassen, kaum noch bezweifelt werden kann. Schon damals zeigte Chladni, daſs man mit Unrecht so manche gut beglaubigte Nachrichten von herabgefallenen Steinen in Zweifel ziehe, daſs die Umstände, unter welchen sie herabgefallen seyn sollten, das gleichzeitige Erscheinen von Feuerkugeln u. s. w., so übereinstimmend sind, daſs schon darin ein Beglaubigungsgrund liege, daſs die Entfernung der Feuerkugeln von der Erde und ihre groſse Geschwindigkeit mit allen andern Erklärungen in Widerspruch stehe, und dagegen begreiflich werde, wenn man annehme, sie bewegten sich, gleichsam als kleine Weltkörper,

---

1 Chladni über die von Pallas gefundene und andere ähnliche Eisenmassen. Riga, 1794.

im Raume fort und würden von der Erde angezogen, wenn sie ihnen nahe genug kommt.

Die Entstehung der ungemeinen Hitze, wodurch diese Körper glühend, schmelzend, ja wohl gar in Dämpfe verwandelt werden, ist freilich noch immer schwer zu erklären. Denn wenn gleich, wie Chladni in seinem neuern Werke bemerkt, ein mit so ungemeiner Geschwindigkeit in unsere Atmosphäre eintretender Körper eine starke Compression der Luft und dadurch sehr grofse Erhitzung bewirken kann, wenn gleich durch diese Compression selbst da wo die Luft schon ziemlich dünne ist, genug Sauerstoffgas, um dieses Brennen und Leuchten zu unterhalten, auf die Masse einwirken kann, so mufs man doch gestehen, dafs, nach unsern sonstigen Begriffen von der Atmosphäre, dieses da nicht wohl statt finden kann, wo fast gar keine Luft vorhanden ist, und dafs dennoch in so grofsen Höhen Feuerkugeln und Sternschnuppen sichtbar werden. Doch dieser Umstand und mehrere andere sind nicht als Einwürfe gegen Chladni anzusehen, da jede andere Hypothese uns hier eben so wenig Aufschlufs giebt. Woher es kommt, dafs jene Massen in den glänzenden Zustand versetzt, und so heftig erhitzt werden, wissen wir noch gar nicht; aber das Ansehen der ganzen Erscheinung läfst schliefsen, dafs die Masse, wenn sie sich als Feuerkugel zeigt, flüssig ist, und Dämpfe, oft als Rauch aus der Kugel hervorbrechend, entwickelt. Ein solcher Rauch scheint auch der dunklere Theil des Schweifs zu seyn, und sein Hervorbrechen an einer bestimmten Stelle kann wohl die Richtung der Bewegung mit bestimmen; denn wenn die Kugel mit Dämpfen gefüllt, überall den Druck dieser elastischen Masse leidet, nur an der Seite nicht, wo die Dämpfe hervorbrechen, so mufs durch die Rückwirkung die Kugel nach der entgegengesetzten Seite fortgehen. Daher scheint es auch zu kommen, dafs die Feuerkugel nach einer Explosion, wobei sie nicht ganz zertrümmert wird, ihre Richtung ändert, indem vermuthlich der Dampfstrom dann an einer andern Stelle der Oberfläche hervorbricht, und eben dadurch die Kugel nach einer andern Richtung zurücktreibt. So möchte ich (theils den Beobachtungen gemäfs, wo z. B. bei der Feuerkugel 1783 Explosion und geänderte Richtung gleichzeitig eintraten, theils auch auf allgemeine Principien gestützt) auch die zuweilen angegebene sprungweise geänderte Bewegung der Feuerkugeln lieber erklären, als nach

Chladni's Ansicht aus der Compression der Luft, welche ein Zurückstoſsen bewirke; denn dieses Zurückstoſsen scheint mir mit den Bewegungsgesetzen eines nach allen Seiten freien Fluidi unvereinbar zu seyn [1].

Zu den Gründen, welche gegen den irdischen Ursprung der Feuerkugeln und Sternschnuppen sprechen, kommt nun auch noch die aus den neuesten Beobachtungen der Sternschnuppen sehr klar hervorgehende Ueberzeugung [2], daſs sich in ihrer relativen Bewegung gegen die Erde der Einfluſs der eigenen Bewegung der Erde verrathe, so daſs unter den Sternschnuppen wenigstens, viel mehrere zu seyn scheinen, die sich relativ der eigenen Bewegung der Erde entgegen, als ihr gemäſs bewegen. Es wäre wohl der Mühe werth, auch auf die Feuerkugeln diese Untersuchung auszudehnen und die vollkommene Berechnung über die wahre Bewegung der Feuerkugeln und Sternschnuppen im Raume, ganz durchzuführen, indem man aus der bekannten Bewegung der Erde und der relativen Bewegung dieser Meteore die absolute Bewegung der letztern herleitete. Das daraus hervorgehende Resultat würde dann freilich doch noch durch die Anziehungskraft der Erde modificirt seyn, aber einige Folgerungen, vorzüglich über die eigenthümliche Geschwindigkeit, mit welcher die Masse des Meteors sich, bevor sie der Erde so nahe war, fortbewegte, würden sich doch wohl ergeben. Groſs muſs diese Geschwindigkeit seyn, da z. B. die, welche unter einem bedeutenden Winkel von der Richtung der Erde abweichen, dennoch sehr schnell über der Erde fortziehen und also auſser jener Bewegung, mit welcher sie die Erde begleiten, auch noch eine auf diese Richtung senkrechte Geschwindigkeit besitzen. Wenn diese Körper an der Erde vorbei gehen, so müssen sie vorzüglich dann lange sichtbar bleiben, wenn entweder ihre Bewegung mit der Bewegung der Erde gleich schnell und nach derselben Richtung gehend ist, oder wenn wenigstens die aus ihrer wahren Bewegung durch Zerlegung der Geschwindigkeit hervorgehende, mit der Bewegung der Erde parallele Geschwindigkeit der Geschwindigkeit der Erde beinahe gleich ist. Ein solcher die Erde eine

---

1 Vergl. Muncke in Schweigg. Journ. XXV. 20.

2 Brandes Unterhalt. für Freunde der Physik und Astronomie 1stes Heft. S. 58.

Zeit lang begleitender, fast immer aber doch noch relativ gegen sie schnell fortrückender Körper, mufs offenbar sich der Erde auch mehr nähern und alle die Einwirkungen, die hier statt finden können, vollkommener erleiden.

Dieser wichtigen Gründe für den kosmischen Ursprung der Feuerkugeln ungeachtet, haben doch auch neuerlich noch einige Physiker den irdischen Ursprung dieser Meteore vertheidigt. Unter diesen nenne ich hier vorzüglich Egen[1], dessen Gründe, sofern sie hierher gehören[2], vorzüglich folgende sind. 1. Die grofse Entfernung dieser Meteore von der Erde sey meistens aus unsichern Beobachtungen abgeleitet. Dieser Einwurf hat wenig Kraft; denn wenn man auch bei der einen und bei der andern Feuerkugel es zweifelhaft machen kann, ob die Höhe bis auf eine Meile genau sey, so hiefse es doch gegen alle Wahrscheinlichkeit streiten, wenn man sagen wollte, bei so vielen Phänomenen habe sich allemal eine zu grofse Höhe ergeben. Und diese Behauptung erscheint um so grundloser, da selbst die weiten Gegenden, in welchen ein solches Phänomen sichtbar gewesen ist, Zeugnifs für seine ungemeine Höhe geben, und die Beobachtungen der Sternschnuppen jetzt sich ebenfalls als jene ungemeine Höhe bekräftigend zeigen. 2. Die Bahn der Meteore scheine immer den Bedingungen der von der Erde aus geworfenen Körpern gemäfs zu seyn. Wenn die Wurfbewegung von der Oberfläche der Erde ausgegangen ist, sagt Egen, so ist die Projection der Wurflinie nothwendig ein gröfster Kreis, und dafs diese bei den Feuerkugeln davon verschieden sey, erhelle wenigstens nicht aus den Beobachtungen. Hier ist nun erstlich zu bemerken, dafs bei kurzen Bahnen, und vollends bei minder genauer Beobachtung wohl die Abweichungen vom gröfsten Kreise leicht unbemerkt bleiben konnten; zweitens dafs der Weg der Feuerkugeln aber auch wirklich nicht immer einen gröfsten Kreis als Projection dargeboten hat, wie das Beispiel der Feuerkugel vom 18. Aug. 1783 zeigt, die von ihrer Richtung abwich, als die Explosion statt gefunden hatte; aber drittens ist auch der theoretische Satz selbst nicht genau richtig, indem, wenn eine mit elastischen Stoffen gefüllte Kugel

1 Gilb. LXXII. 376.

2 Die aus den Bestandtheilen der Meteormassen hergenommenen Gründe lasse ich hier aus den Augen.

zuerst nach einer bestimmten Richtung fortgeht, gewiſs beim Zerspringen die Bahnen der einzelnen Theilchen, selbst auf die Erdfläche projicirt, ganz ungleich ausfallen.

Einen wichtigern Einwurf könnte man aus dem nach dem Verschwinden dieser Meteore übrig bleibenden Schweife hernehmen, der gewöhnlich gar nicht fortzurücken pflegt oder wenigstens nicht so schnell fortrückt, als es die eigene Bewegung der Erde fordert. Wenn eine Sternschnuppe in 10 Meilen Höhe nahe bei meinem Zenith verschwindet und der Schweif bleibt auch nur 2 bis 3 Secunden sichtbar, so sollte er mir, wenn ich mit der bewegten Erde an ihm vorbei eile, viele Grade weit unter den Sternen fortzurücken scheinen, was keineswegs der Fall ist. Ein Schweif, der so wie am 23. Oct. 1805 oder am 11. Dec. 1741 eine Viertelstunde lang dauerte, müſste, weil die Erde sich unterdeſs um Tausende von Meilen von ihm entfernte, längst unsichtbar geworden seyn, und man sieht daher, daſs diese Schweife die Erde begleiten. Es erhellet aus dieser groſsen Verschiedenheit zwischen der schnell fortziehenden Feuerkugel und dem stillstehenden Schweife, daſs man dem letztern eine ganz andere Beschaffenheit als der erstern beilegen muſs. Der Schweif begleitet die Erde und muſs daher sich in einem umgebenden Medio befinden, das dicht genug ist, diese vermuthlich ungemein dünne Materie mit fortzuführen, und wir haben also Hoffnung, durch Beobachtungen auszumitteln, wie hoch hinauf noch eine dazu hinreichend dichte Materie vorhanden ist. Die eigene Bewegung der Schweife, die nur selten und nie in erheblichem Maſse statt findet, scheint von zwei verschiedenen Ursachen abzuhängen, nämlich von einem geringen Zurückbleiben hinter der Erde, und von kleinen Explosionen der vielleicht im Schweife noch übrigen dichtern Theilchen. Das langsame Fortrücken gegen Süden, welches der Schweif am 23. Oct. 1805 zeigte, und das doch immer einige Meilen betragen mochte, konnte nach der damaligen Richtung der Erde wohl so erscheinen, wenn der Schweif sich ein wenig langsamer als die Erde bewegte, aber hätte freilich in einer einzigen Secunde mehr betragen müssen, als es in 15 Minuten betrug, wenn der Schweif ohne alle Bewegung gewesen wäre, oder die Erde gar nicht begleitet hätte. Eine wichtigere Ursache der Veränderung des Schweifes scheint aber in kleinen Explosionen zu liegen, die einen Theil des Schweifes eben so, wie früher einzelne Theile

der Kugel, nach einer Seite hin stoſsen; indeſs sind damit die Beugungen des ganzen Schweifs nicht zu erklären, wenn sie so wie bei einer von mir beobachteten Sternschnuppe[1] als ein allmäliges Zusammenkrümmen des ganzen Schweifs erscheinen.

Viel Unerklärliches also bleibt noch immer hier übrig, und künftige Beobachtungen können uns noch viele Belehrung gewähren. Zu diesem Unerklärlichen gehört auch der, oft erst mehrere Minuten nach dem Zerspringen gehörte Knall, von welchem es ganz unglaublich scheinen würde, daſs er sich durch die in 6 oder 8 Meilen Höhe so ungemein verdünnte Luft stark genug fortpflanzen könnte, wenn nicht zahlreiche Erfahrungen zeigten, daſs es dennoch wirklich so sey.

Obgleich aber die Frage, ob die Feuerkugeln irdischen Ursprungs sind, hiernach wohl verneinend entschieden zu seyn scheint, so könnte man nun doch ihren Ursprung noch näher bestimmen wollen, und hat deshalb gefragt, ob sie vom Monde zu uns herüber geworfen seyn könnten. Unmöglich wäre das zwar nicht, aber theils macht die groſse Zahl der auf die Erde fallenden Meteorsteine dieses unwahrscheinlich, theils auch der Umstand, daſs nur die unter sehr bestimmtem Winkel vom Monde ausgeworfenen Körper die Erde erreichen könnten, und es ist daher nicht glaublich, daſs sie von dort ihren Ursprung haben[2].

Aber wenn gleich die Feuerkugeln, aus denen feste Massen auf die Erde herabfallen, nicht ursprünglich der Erde angehören, so ist es doch noch zweifelhaft, ob gerade alle Feuerkugeln und Sternschnuppen ganz einerlei Natur haben. Vorzüglich verdiente es eine eigene Untersuchung, wozu es noch an hinreichenden Beobachtungen fehlt, ob die Feuerkugeln, die bei groſsen Revolutionen in der untern Atmosphäre gesehen sind, in solchen Höhen entstehen, wie die, von welchen die oben angeführten Beobachtungen Nachricht geben. Da doch schwerlich diese Feuerkugeln Ursachen der Stürme und tiefen Barometerstände seyn könne, so muſs man vielmehr wohl annehmen, daſs sie eben den Ursachen ihr Entstehen verdanken, welche jene Unruhe in der untern Luft hervorbringen; dann aber sind diese

---

1 Versuche die Entfernung, Geschwindigkeit und Bahnen der Sternschnuppen zu bestimmen, von Benzenberg und Brandes S. 85.

2 Gilb. XIV. 38.

Feuerkugeln irdischen Ursprungs. — Doch es ist noch zu früh, darüber etwas Entscheidendes zu sagen. Auch darüber, ob Feuerkugeln eine Aenderung der Temperatur in der untern Atmosphäre bewirkt haben, wage ich nichts zu behaupten, obgleich Chladni Beispiele, wo gröfsere Wärme gefolgt sey, anführt.

Dafs Ritter's Behauptungen über ihre dem magnetischen Meridian parallele Richtung über gewisse Perioden, wo sie häufiger erscheinen u. dgl. ohne Grund sind, hat Chladni[1] wohl hinreichend gezeigt.

Von den heruntergefallenen Massen wird der Art. *Meteorsteine* Nachricht geben, die Nachrichten von einzelnen Feuerkugeln hier aufzuführen, habe ich für unnöthig gehalten, weil man in Chladni's oben erwähntem Werke alles hierher Gehörige gesammelt findet. *B.*

Feuerzeug.

Es giebt der Feuerzeuge gar viele und von mancherlei Art, keines derselben ist seinem Wesen nach auf andere als physikalische Principien gegründet und somit für den Physiker nicht ohne Interesse oder ihm in der Hauptsache fremd; allein dennoch würde eine Aufzählung und Beschreibung derselben eben so unfruchtbar als ermüdend seyn, und aufserdem werden sie selbst nebst den Grundsätzen, wonach sie construirt sind, gelegentlich erwähnt werden. Nur zwei derselben verdienen eine genauere Beschreibung, nämlich das sogenannte *chemische* und das *pneumatische*, indem das elektrische Feuerzeug (gewöhnlicher elektrische Lampe, Zündlampe genannt) und die durch Döbereiner erfundene Abänderung dieses Apparates, bei welchem die Entzündung des Wasserstoffgases durch Platinschwamm geschieht, an andern geeigneten Orten beschrieben werden sollen.

A. Chemisches Feuerzeug.

Hierunter versteht man denjenigen Apparat, bei welchem eine schnelle Entzündung mit Flamme durch die chemische Zersetzung des chlorsauren Kali's durch Schwefelsäure erzeugt wird. Das Ganze besteht daher meistens aus einem Kästchen

---

1 Chladni über Feuermeteore. S. 66.

von verschiedener willkürlicher Gestalt, worin sich ein kleines Gefäfs mit etwas Schwefelsäure befindet, und zugleich die kleinen Schwefelhölzchen aufbewahrt werden können, welche man durch Eintauchen in die Schwefelsäure entzündet. Jenes Gefäfs ist meistens ein kleines Gläschen, welches mit einem geeigneten Stöpsel verschlossen wird, damit die Schwefelsäure nicht zu viel Wasser aus der Luft anzieht, womit sie sich wegen ihrer starken Affinität zu demselben begierig verbindet, dadurch aber zur Erzeugung einer Entzündung unbrauchbar wird. Die Schwefelsäure ist ferner sehr ätzend, und richtet daher leicht Schaden an, wenn sie verschüttet wird, auch pflegt das Entzünden der Schwefelhölzchen durch dieselbe mit einigem Knistern verbunden zu seyn, wodurch leicht kleine Quantitäten derselben umhergespritzt werden, wenn sie in zu grofser Menge an die Schwefelhölzchen gebracht wird. Um dieses zu vermeiden und da es nur einer sehr geringen Quantität derselben zur Entzündung der Schwefelhölzchen bedarf, pflegt man etwas gewaschenen Kiessand, ungleich besser aber etwas Asbest auf den Boden der Gläschen zu bringen, damit hierdurch die Schwefelsäure aufgesogen werde, und nur eine geringe Quantität derselben an die Hölzchen übergehe. Durch längeren Gebrauch wird die Schwefelsäure theils verbraucht, zuweilen zieht sie aber durch wiederholtes Eröffnen des Gläschens und hierdurch bewirkten freien Zutritt der feuchten Luft zu vieles Wasser an, welches sie für die Folge untauglich macht. Im ersteren Falle ist nichts weiter erforderlich, als wieder einige Tropfen Säure hinzuzugiefsen, im letzteren aber thut man wohl, die wässerige Flüssigkeit erst aus dem Gläschen zu tröpfeln, auch einige Schwefelsäure nachzuschütten, damit diese das überflüssige Wasser absorbire, diese wässerige Säure wieder abzugiefsen, und eine geringe Quantität frischer Säure wieder in das Gläschen zu bringen. Dafs man hierbei wegen der starken ätzenden Eigenschaft der Schwefelsäure mit gehöriger Vorsicht verfahren müsse, um sich und die umliegenden Gegenstände gegen Verletzungen zu sichern, versteht sich von selbst.

Die *Zündhölzchen*, welche gegenwärtig in grofser Menge fabrikmäfsig verfertigt werden, sind gewöhnliche Schwefelhölzchen mit der durch Zutritt der Schwefelsäure sich entzündenden Mischung am einen Ende. Diese Mischung besteht in der Hauptsache aus chlorsaurem Kali und Schwefelblumen, wel-

che gemengt und durch irgend ein Bindemittel an den Enden der Hölzchen festgeklebt wird. Die gewöhnlichen Angaben für diese Mischung sind 60 Th. chlorsaures Kali, 14 Th. Schwefelblumen, 14 Th. Benzoeharz, etwas weniges Traganthschleim und Zinnober; oder 30 Th. chlorsaures Kali, 10 Th. Schwefel, 8 Th. Zucker, 5 Th. arabischer Gummi und etwas Zinnober[1]. Diejenige Mischung, welche zu den gewöhnlichen, fabrikmäfsig gut bereiteten, Hölzchen genommen wird, besteht aus 30 Th. Schwefelblumen, 4 Th. Zinnober, 4 Th. arabischem Gummi, 3 Th. Gummi Traganth, 3 Th. Kolophonium, jedes fein gerieben, dann gemengt und abermals gerieben, dann 21 Th. fein geriebenes chlorsaures Kali zugesetzt, gut gemengt, mit wenigem Wasser zu einem dicken Brei gerührt, jedes Schwefelhölzchen mit demjenigen Ende, woran der Schwefel festsitzt, in die Masse eingetaucht und getrocknet[2]. Sobald das chlorsaure Kali zugesetzt ist, darf das Gemenge nur im feuchten Zustande gerieben werden, weil sonst leicht eine höchst gefährliche Explosion entstehen kann. Die Ursache der Entzündung liegt darin, dafs die Schwefelsäure das chlorsaure Kali durch heftige chemische Einwirkung in Chloroxyd, saures schwefelsaures Kali und oxydirtchlorsaures Kali zerlegt, wobei das sich entwickelnde Chloroxyd die damit verbundenen brennbaren Körper des Gemenges entzündet[3]. Diese Entzündung theilt sich dann dem Schwefel der Hölzchen und zuletzt diesen selbst mit, weswegen man diese Zündhölzchen zuerst als gemeine Schwefelhölzchen verfertigt, und dann eine geringe Quantität der zündenden Substanz an den Schwefel bringt.

B. Pneumatisches Feuerzeug.

Das pneumatische Feuerzeug (briquet pneumatique) auch *Tachopyrion* genannt, hat seinen Namen davon, dafs die Compression der Luft die Entzündung der leicht feuerfangenden Körper in demselben bewirkt. Ueber die Ursache des ganzen Phänomens und die dasselbe begleitenden Umstände war man nur im Anfange zweifelhaft; gegenwärtig ist es durch genügende Thatsachen erwiesen, dafs die durch Compression der

---

1 Gmelin's Handb. d. Chemie 3te Aufl. I. S. 558.

2 Dingler polytechnisches Journ. XVIII. 121.

3 Gmelin a. a. O.

Luft frei werdende Wärme aus dieser letzteren ausgeschieden wird, und zugleich Ursache des Entzündens leicht verbrennlicher Körper ist. Diesemnach ist denn auch das pneumatische Feuerzeug nichts anders als eine geeignete Compressionspumpe, mit einer Vorrichtung, um den Zündschwamm in denjenigen Raum zu bringen, in welchem die Luft plötzlich und stark zusammengedrückt wird. Daſs die Compression recht schnell geschehen müsse, wenn der Versuch gelingen soll, folgt schon daraus nothwendig, weil sonst die erzeugte Wärme den umgebenden dichteren Körpern mitgetheilt wird, und somit auf die leicht entzündbaren Körper keine Wirkung äuſsern kann. Anfangs bediente man sich der gewöhnlichen Compressionspumpen für die Windbüchsen, bald nachher aber, als die Sache wegen ihrer Neuheit Aufsehen und Beifall erhielt, verfertigte man kleine, etwa 3 Z. lange und 0,3 Z. im Durchmesser haltende messingne Feuerzeuge, welche zum Behuf des Entzündens von Zündschwamm in der Tasche getragen wurden oder auch in den Spatzierstöcken enthalten waren. Der an einem eisernen Stiele befestigte Embolus ist hierhei nur 6 bis 9 Lin. lang, hat auf seiner obern Fläche ein krummgebogenes eisernes Häkchen, welches etwa 0,75 Lin. von jener Fläche absteht und zur Befestigung des Zündschwammes dient, zugleich aber berührt der völlig hineingestoſsene Embolus die untere Fläche des hohlen messingnen Cylinders nicht, sondern nähert sich demselben nur bis auf den Abstand von etwa 1 bis 2 Lin., damit der entzündete Schwamm nicht durch die Berührung des metallenen Bodens wieder erlöschen möge. Beim Gebrauche dieses Apparates ist es aber nicht bloſs erforderlich, den Embolus schnell hineinzustoſsen, sondern man muſs ihn auch mit gröſster Geschwindigkeit wieder zurückziehen, damit der glühende Schwamm nicht das wenige, in dem engen Raume befindliche Sauerstoffgas verzehre und wieder erlösche. Zum Gelingen des Versuches ist nämlich keineswegs ein so genaues Schlieſsen des Embolus erforderlich, daſs keine Luft neben demselben entweiche, vielmehr wird die Entzündung dennoch erfolgen, wenn auch die nach dem Stoſse in dem Raume befindliche Luft keinen hohen Grad der Dichtigkeit mehr besitzt, unter der Voraussetzung, daſs nur die Compression selbst schnell genug geschieht. Obgleich die Entzündung des Schwammes vermittelst dieses Werkzeuges mit groſser Sicherheit erfolgt, so hat die praktische An-

wendung desselben doch in so fern etwas wider sich, als man jederzeit einen kräftigen Stofs anwenden, und dabei das eine Ende des Feuerzeuges auf einen harten Gegenstand, etwa eine Tisch, einen Stein u. dgl. stützen mufs, um hinlänglichen Widerstand zu finden[1]. Diese kleine, durch den Reiz der Neuheit früher sehr allgemein verbreiteten Tachopyrien sind daher bald wieder aus der Mode gekommen, beweisen indefs den wichtigen Satz, dafs zur Entzündung des Schwammes eine so sehr bedeutende Compression der Luft gar nicht erforderlich ist, indem bei der geringen Länge jener kleinen Werkzeuge der Raum, in welchem der Schwamm entzündet wird, keine in einem hohen Grade vielfach verdichtete Luft enthalten kann. Wir wollen des Beispiels wegen annehmen, der Raum zwischen dem Embolus und dem Boden des messingnen Cylinders betrage 3 Z. und dieser sey am Ende des Stofses so weit vermindert, dafs sich der Schwamm noch in einem Raume von 2 Lin. befunden habe, so war die Verdichtung der Luft, wenn man keinen Theil derselben als entwichen annimmt, nicht mehr als die achtzehnfache, welche in der Wirklichkeit aber leicht auf $\frac{2}{3}$ also auf eine zwölffache herabgesetzt werden kann.

Diejenigen Tachopyrien, welche gegenwärtig mit Recht als unentbehrliche Apparate der physikalischen Cabinette angesehen werden, sind zuerst von Dumoutiez in Paris verfertiget[2]. Sie bestehen aus einem gläsernen Cylinder, welches Material jener Künstler deswegen wählte, weil man begierig war, den bei der Compression sich zeigenden Nebel und die damit leicht verbundene Lichtentwickelung zu sehen. Der hohle gläserne Cylinder aa ist 8 bis 10 Zoll lang, 2 bis 3 Lin. im Lichten weit und von etwa 2 bis 3 Lin. Glasesdicke, wobei sich von selbst versteht, dafs diese Mafse nur die mittleren sind, und hierüber

Fig. 41.

---

1 Newmarch in Glocestershire hat vor Kurzem Schiefsgewehre mit kleinen Tachopyrien versehen, um das Pulver durch blofse Compression der Luft zu entzünden. Bei diesen liegt eine kurze Compressionspumpe im Flintenkolben, deren Stempel durch eine starke gespannte Spiralfeder fortgestofsen wird, und die comprimirte Luft in einen engen, mit der Pulverkammer communicirenden Canal prefst, um das Pulver zu entzünden. S. Lond. Journ. of Arts 1826. Sept. p. 72. Die Erfindung wird aber keinen Beifall finden, weil sich leicht ergiebt, dafs sie in vielfacher Hinsicht nicht zweckmäfsig ist.

2 Vergl. G. XXV. 118.

keine feste Norm besteht. Der Cylinder wird vermittelst einer kupfernen Regel mit Schmirgel warm ausgeschliffen, um genau cylindrisch zu seyn, bei welcher Operation schlecht gekühltes Glas leicht zu zerspringen pflegt, dann wird er oben mit einer messingnen Fassung und dem buxbaumenen Knopfe b völlig luftdicht verschlossen, jedoch meistens so, daſs man den Knopf abschrauben, und somit auch das obere Ende öffnen kann, und am untern Ende wird gleichfalls eine messingne Fassung angebracht. Der Embolus ist 1,25 bis 1,5 Zoll lang, mit Leder überzogen und geölt, endigt oben in einen messingnen Ring so, daſs eine Vertiefung entsteht, in welche ein Stück Schwamm gebracht werden kann, und damit dieser den Boden des Cylinders beim Hineinstoſsen des Embolus nicht berührt, ist in der messingnen Fassung des hölzernen Griffes bei c c ein Stück Kork angebracht, welches den etwaigen Stoſs gegen das Ende des Cylinders minder hart macht. Auch bei diesem Apparate ist zum Gelingen des Versuches keineswegs erforderlich, daſs der Embolus absolut schlieſse, und keine Luft entweichen lasse, vielmehr habe ich mehrere Tachopyrien versucht, bei denen ich den Embolus ohne groſse Anstrengung bis auf den Boden des Cylinders drücken konnte, und dennoch erfolgt die Entzündung unfehlbar, wenn der Stoſs nur rasch genug vollführt wird.

Die physikalischen Gesetze, worauf das pneumatische Feuerzeug gegründet ist, können hier nicht erörtert werden, indem sie mit der ganz allgemein stattfindenden Entbindung der Wärme durch Compression innigst verwebt sind[1], und es bleibt daher nur noch übrig, die Geschichte der Erfindung desselben und die wichtigsten damit beobachteten Erscheinungen näher anzugeben. Man wuſste schon längst, namentlich aus Dalton's Versuchen, daſs durch Compression der atmosphärischen Luft Wärme erzeugt werde, allein nicht auf diesem Wege, sondern höchst wahrscheinlich durch bloſsen Zufall ist die Entdeckung des Tachopyrion gemacht. Ein Arbeiter in der Gewehrfabrik zu Étienne en Forez scheint nämlich die Wärme wahrgenommen zu haben, welche die in der gemeinen Ladungspumpe einer Windbüchse comprimirte Luft hergiebt, und hat wahrscheinlich auf diese Weise zuerst den Zündschwamm zum Brennen ge-

1 S. *Wärme, Erzeugung derselben durch Compression.*

bracht[1]. Mollet, Prof. der Physik in Lyon, lernte die Erscheinung kennen, und theilte die Nachricht darüber nach Paris mit[2], wo die Sache grofses Aufsehen erregte, und der Prof. Charles vom Institute veranlafst wurde, sie näher zu prüfen. Inzwischen glaubte man anfangs, die in einer Windbüchse comprimirte und dann explodirende Luft bewirke die Entzündung, welches aber durch die Versuche nicht bestätigt wurde, und man war daher in Paris geneigt, die ganze Angabe für ungegründet zu halten, bis ein Augenzeuge, welcher die Versuche bei Mollet gesehen hatte, sie wiederholte, und dadurch die richtige Ansicht derselben herbeiführte. Von nun an wurde diese Entdeckung sowohl in Frankreich, als auch in Deutschland bekannt[3], und man wiederholte sehr allgemein diese interessanten Versuche. Der erste, welcher sich in Deutschland damit beschäftigte, und die Resultate seiner Versuche bekannt machte, war Erman[4]. Ihm gelang die Entzündung des Zündschwammes, wenn er ihn oben in die fest verschlossene Oeffnung einer gemeinen Compressionspumpe der Windbüchse brachte, zwar vollkommen, wenn er die Luft nur etwa auf das Zwölffache verdichtete, weil er aber zugleich gefunden zu haben glaubte, dafs andern Substanzen keine bedeutende Temperaturerhöhung mitgetheilt werde, wenn er sie statt des Schwammes in dessen Raum brachte, und er selbst das leichtflüssige Rose'sche Metall nicht zum Schmelzen bringen konnte, so leitete er das Entzünden des Schwammes von einer Reibung der Luft an den feinen Fasern des Schwammes und einer hiermit verbundenen Zusammendrückung und Biegung derselben ab, wogegen sich aber gleich anfangs Wrede erklärte[5]. Eine lange bei den Physikern herrschende Ansicht war, dafs durch Compression der Luft das Sauerstoffgas ausgeschieden werde, und die Entzündung bewirke, worauf auch der Umstand hindeutete, dafs durch solche Gasarten, worin sich jenes Gas nicht befand, keine Entzündung hervorgebracht werden kann; inzwischen ist gegenwärtig genugsam erwiesen, dafs auch diese allerdings durch Verdichtung

1 J. d. Ph. LXII. 256.
2 Ebend. LVIII. 487.
3 Izarn Lithologie atmosphérique. Par. 1803. 8.
4 G. XVIII. 240.
5 G. XVIII. 406.

Wärme hergeben, wobei die nicht erfolgende Entzündung aus andern Gründen leicht erklärbar ist.

Weit genügendere Resultate erhielt Gilbert[1] mit einer eigends für diesen Zweck verfertigten eisernen Compressionspumpe. Es gelang ihm hiermit nicht bloſs den Schwamm zu entzünden, sondern auch das Rose'sche Metall zu schmelzen, Baumwolle allein oder mit Kolophonium, Schwefelblumen und Schieſspulver bestreuet, oder mit Terpentinöl und Schwefeläther benetzt, Leinwand und Papierschnitzeln zu verkohlen, und in den meisten Fällen aus dem entstandenen Rauche zu folgern, daſs ein wirkliches Brennen statt gefunden haben muſste. Hieraus ergab sich nun evident, daſs die Ursache der Erhitzung nicht in einer Compression oder Biegung der festen Körper, auch nicht in einer Reibung der Luft an diesen oder an den festen Wänden der Compressionspumpe und eben so wenig in einer Reibung des Embolus an den letzteren liegen könne, sondern daſs die Wärme einzig und allein aus der comprimirten Luft selbst ausgeschieden seyn muſste. Gleich entscheidende Versuche wurden auch in Paris angestellt, unter denen die von Biot die umfangendsten und wichtigsten sind. Dieser Physiker lieſs sich eine eiserne Compressionspumpe expreſs hierfür verfertigen, und oben mit einer dicken Spiegelglasplatte bedecken, konnte indeſs den Lichtschein, welchen er bei der Compression der atmosphärischen Luft erwartete und in andern Versuchen wahrgenommen haben wollte, wahrscheinlich der schnellen Bewegung halber nicht sehen. Sehr interessant dagegen war es, daſs er die vermuthete Entzündung des Knallgases durch bloſse Zusammendrückung in diesem Apparate bewerkstelligte, wobei aber in den beiden ersten Versuchen die Glasscheibe zerschlagen und in einem dritten selbst die Pumpe zerrissen wurde[2].

Auch nach Biot's Ansicht, welche seitdem aus hinreichenden Gründen allgemein angenommen ist, wird die bei den genannten Versuchen frei werdende Wärme zunächst bloſs aus der plötzlich verdichteten Luft ausgeschieden, indem der aus den zusammengedrückten festen Körpern hinzukommende Antheil als unbedeutend vernachlässigt werden kann. Seitdem sind die Versuche mit dem pneumatischen Feuerzeuge zwar noch oft wieder-

1 Annalen XVIII. 407.

2 Ann. de Chim. LIII. 321.

holt, allein es ist nichts Neues durch dieselben mehr aufgefunden. Als die bedeutendsten unter diesen verdienen etwa die von Le Bouvier-Desmortier genannt zu werden, welcher fand, daſs die Entzündung nicht erfolgte, wenn das obere Ende des Feuerzeuges nicht luftdicht schloſs, wohl aber dann, wenn der Embolus Luft neben sich entweichen lieſs. Letzteres ist jetzt allgemein bekannt, denn es giebt wohl kaum ein solches Werkzeug, welches bei dem erforderlichen heftigen Stoſse nicht einen geringeren oder gröſseren, oft einen bedeutenden, Antheil der Luft entweichen lieſse. Merkwürdig bleibt es aber dennoch, daſs Le Bouvier-Desmortier in den Embolus der Länge nach zuerst einen, dann zwei, dann drei und endlich gar vier Reifen von 0,25 Lin. Tiefe einschneiden lieſs, und dennoch erfolgte die Entzündung des Schwammes, hörte aber auf, als alle vier Reifen ihrer Gröſse nach in einen einzigen vereinigt wurden[1].

Setzen wir zuvörderst die Richtigkeit jener oberen und dieser letzteren Behauptung voraus, welche auf den ersten Blick mit einander unverträglich scheinen, so ist die Erklärung von jener schwieriger als von dieser. Es folgt nämlich aus pneumatischen Gesetzen, daſs eine gewisse Zeit erfordert wird, bis die auf der obern Fläche des Embolus ruhende Luftschicht nach den Oeffnungen am Rande desselben abflieſst, und man kann sich daher auf gewisse Weise vorstellen, daſs zunächst nur die in der ganzen Länge des hohlen Cylinders befindlichen Luftsäulen, deren Basis auf den Oeffnungen im Embolus ruhet, bei der Bewegung des letzteren entweichen, während die in der Mitte desselben aufliegende Luftsäule zusammengepreſst wird, und die Entzündung des Schwammes bewirkt, welches um so leichter geschehen kann, als oben angegebenen Erfahrungen nach kaum eine zwölffache Verdichtung der Luft hierzu erfordert wird. Die hierbei angenommenen Voraussetzungen sind zwar nicht strenge richtig, allein doch genähert; eine Berechnung aber, wie stark die Verdichtung bei einer gegebenen Weite des Cylinders und der Einschnitte in den Embolus, desgleichen einer bestimmten Geschwindigkeit der Comprimirung sey, würde wegen der zunehmend vermehrten Dichtigkeit auf gröſsere Schwierigkeiten führen, als die Aufgabe werth ist. Daſs aber

---

1 G. XXX. 268 ff. Vergl. XXXIII. 228 ff.

die vier in einen einzigen vereinten Einschnitte, wenn anders der Raum dieses letzteren der Summe jener ersteren genau äquivalent war, keine weitere Entzündung des Schwammes zuliefsen, konnte darin seinen Grund haben, dafs die kleineren Reifen in dem auf allen Fall elastischen Embolus durch den Gegendruck der Wandungen des Cylinders noch mehr zusammengedrückt wurden, und somit als sehr enge Canäle der durchströmenden Luft in einen gröfseren Widerstand entgegensetzten, als ein einziger weiter Canal, eine Erklärung, welche auch Le Bouvier-Desmortier von der Erscheinung gegeben hat. Ungleich schwieriger ist es, die Ursache aufzufinden, warum die Entzündung des Schwammes nicht statt findet, wenn das Feuerzeug oben nicht genügend verschlossen ist, vorausgesetzt dafs die Quantität der dort entweichenden Luft nicht gröfser ist als diejenige, welche neben dem Embolus oder durch die Reifen in demselben ausströmt. Die einzige Erklärung, welche mir unter der angegebenen Bedingung als möglich erscheint, ist folgende. Wenn das obere Ende des Cylinders genau verschlossen ist, so mag der zu entzündende Schwamm entweder nahe unter demselben oder über dem beweglichen Embolus angebracht seyn, stets wird er sich in einer an Dichtigkeit zunehmenden Luft befinden, und zwar im ersteren Falle noch mehr als im letzteren, wenn die entweichende Luftmenge nicht über die nothwendige Grenze hinausgeht. Entweicht dagegen Luft neben dem verschliefsenden Knopfe, und befindet sich der Schwamm dicht unter demselben, so wird gerade in seiner Umgebung eine stete Expansion der Luft durch ihr der Stärke der Compression proportionales Entweichen stattfinden, welches die Wirkungen der Zusammendrückung mindestens zum Theil wieder aufhebt. Ist aber der Schwamm über dem Embolus oder in einer Höhlung im oberen Theile desselben befestigt, so ist der Embolus das Bewegte, und die zunächst über ihm befindliche Luftschicht wird am stärksten comprimirt seyn, weil doch allezeit einige, wenn auch sehr kurze Zeit erforderlich ist, bis die beginnende und bei fortgesetzter Bewegung des Embolus stets wachsende Dichtigkeit sich der in der ganzen Länge des Cylinders befindlichen Luftsäule mittheilt. Wenn nun Luft neben dem oberen verschliefsenden Knopfe der Compressionspumpe entweichen kann, so wird bei zunehmender Verdichtung der Luft das Maximum ihrer Dichtigkeit über der Oberfläche des Embolus, das Mini-

mum unter dem verschlieſsenden Knopfe seyn, und kann also bei stets dauernder Expansion derselben keine Entzündung erzeugt werden, wo sich auch immer der Schwamm befinden mag.

Man bemerkt allezeit oder mindestens oft einen Lichtschein und einen bedeutend dichten Dunst im pneumatischen Feuerzeuge, war aber nicht allezeit über die Ursache dieser Erscheinung einig, indem Le Bouvier-Desmortier sogar den Dunst für ausgeschiedenen Wärmestoff halten wollte. Wenn man aber berücksichtigt, was für eine bedeutende Wärme durch die schnelle Compression der Luft frei wird, so muſs es als nothwendig erscheinen, daſs eine hinlängliche Menge des allezeit vorhandenen Oeles oder selbst vom Leder des Kolbens in Dampf verwandelt wird, welcher durch augenblicklich erfolgende Abkühlung als Dunst zum Vorschein kommt. Ist auſserdem Zündschwamm oder ein sonstiger leicht feuerfangender Körper im Feuerzeuge befindlich, so entsteht allezeit eine mehr oder minder vollständige Verbrennung, woraus der Dunst oder eigentliche Rauch nur zu leicht erklärbar wird. Das wahrgenommene Licht aber ist entweder ein eigentlicher Funken, und entsteht im Momente des Erglühens des Schwammes, oder es ist ein bloſser Lichtschein, welchen man am leichtesten aus einem schwachen Glühen des gebildeten Dampfes erklären oder für eine Art Phosphorescenz halten könnte. Letzteres müſste für einige Fälle alsdann angenommen werden, wenn es gegründet ist, daſs nach Dessaigne's Versuchen[1] auch schnell und stark comprimirtes Wasser nicht bloſs Wärme frei macht (woran nicht zu zweifeln ist), sondern auch einen schwachen Lichtschein wahrnehmen läſst. Einige Physiker haben diese Lichtentwickelung, so wie alle Erscheinungen, welche das Tachopyrion darbietet, mit dem bekannten Windbüchsenlichte in Verbindung bringen wollen, allein von diesem letzteren, noch immer etwas räthselhaften, Phänomene wird noch besonders gehandelt werden. *M.*

Filtriren.

Seihen, Durchseihen; *Filtratio*, *Colatio*; Filtration; *Filtration*.

---

1 J. de Phys. LXXIII. 41.

Das *Filtriren*, auch die *Filtrirung*, *Durchseihung* genannt, bezeichnet den Act des langsamen Durchlaufens, Durchdringens der Flüssigkeiten durch schwammige, poröse und lockere Körper, wobei die den Flüssigkeiten mechanisch beigemengten Substanzen durch den Widerstand, welchen die nahe bei einander liegenden Theile des Filtrirungsapparates ihnen entgegensetzen, zurückgehalten werden, die Flüssigkeiten selbst aber durch die feinen Zwischenräume dringen, und daher in der Regel hell und gereinigt wieder zum Vorschein kommen. Solche Substanzen aber, welche mit den Flüssigkeiten chemisch verbunden oder auch nur vollständig von ihnen aufgelöst sind, können durch ein Filtrum nicht abgeschieden werden. Im Allgemeinen dient daher das Filtriren dazu, trübe Flüssigkeiten von den mechanisch beigemengten Körpern zu trennen, sie reiner und heller zu machen; in vielen Fällen aber, wenn die lockeren filtrirenden Körper zum Theil aus Substanzen bestehen oder mit solchen gemengt sind, welche von den durch sie dringenden Flüssigkeiten aufgelöst werden, so nehmen diese von jenen eine gröſsere oder geringere Menge auf, und können sonach unreiner seyn als sie vor dem Filtriren waren; meistens sind sie zwar hell, zuweilen aber werden sie durch unreine Filtrirungssubstanzen selbst trübe.

Um die Uebersicht der verschiedenen Filtrirungsprocesse zu erleichtern und von den sehr mannigfaltigen Arten derselben die wichtigsten hervorzuheben, lassen sie sich am besten in *natürliche* und *künstliche* abtheilen. Die in der Natur vorkommenden Filtrirungen sind höchst zahlreich, und bestehen hauptsächlich im Durchdringen des atmosphärischen Wassers durch Sand und lockeres Erdreich. Nur in zwei Arten von Erscheinungen verdient indeſs dieser Proceſs vorzügliche Beachtung, nämlich zuerst bei der Bildung der Quellen und alsdann bei der Entstehung des Tropfsteinwassers. Beide sind zwar ganz eigentliche Filtrirungen, welche noch auſserdem das Eigenthümliche haben, daſs in beiden Fällen das reine Wasser eine gröſsere oder geringere Menge Stoffe aus der filtrirenden Substanz aufnimmt und dadurch verunreinigt wird; weil aber jeder dieser Processe eine besondere Erläuterung verdient[1], so können sie hier nur im Allgemeinen erwähnt werden.

---

1 S. *Quellen und Tropfstein.*

Ausnehmend zahlreich und mannigfaltig sind die *künstlichen* Filtrirungen. Unter diese Classe gehören diejenigen Processe, welche in der Oekonomie, Technologie und vorzüglich der Chemie in großer Zahl und unter den verschiedensten Modificationen vorkommen, im Allgemeinen aber, hauptsächlich bei den beiden ersteren Arten, sämmtlich darauf hinauslaufen, daß man entweder feste Substanzen von einem mit ihnen vereinigten flüssigen Mittel zu scheiden sucht, oder eine mit unaufgelösten Stoffen verbundene Flüssigkeit von diesen zu trennen beabsichtigt, oder endlich einen Extract aus verschiedenen, meistens pulverisirten Körpern zu erhalten verlangt, wobei als Filtrirungsapparat häufig die *Real'sche Extractions-Press*[1] angewandt zu werden pflegt. Häufig wird hierbei die eine der getrennten Substanzen, entweder die Flüssigkeit oder der rückbleibende feste Körper, als unbrauchbar weggeworfen, in manchen Fällen werden sie aber beide benutzt. Unter die ökonomischen Filtrirungsprocesse gehört z. B. das Durchseihen der Milch, das Abscheiden der Molken von den käsigen Theilen, die gewöhnliche Filtrirung des Kaffee's u. dgl. m. Die bei technischen Processen und in Fabriken vorkommenden Filtrirungen sind meistens bestimmten Regeln unterworfen, welche hier nicht erwähnt werden können, und daher mögen des Beispiels wegen nur genannt werden das Absondern der Bierwürze von den Trestern, die Reinigung der verschiedenen Laugen von den beigemengten heterogenen Theilen u. dgl. Die *Filtra (Durchseiher, Seiher)*, deren man sich in diesen Fällen bedient, sind oft bloße leinene Tücher; Filze, dickere oder dünnere wollene Zeuge, feine Geflechte von Pferdehaaren (Haarsiebe), selbst fein durchlöcherte Bleche und zuweilen nur Strohmatten oder Strohwische, welche letzteren vor den Abflußlöchern ausgebreitet werden. Man wählt dann nach dem jedesmaligen Bedürfnisse sowohl den Stoff als auch die Gestalt, wendet aber im Großen meistens spitz zulaufende Beutel (*Filtrirsäcke; manica Hippocratis*) oder viereckige, in den vier Winkeln eines hölzernen Rahmens, des *Tenakels*, ausgespannte Tücher an. Auf diese Tücher wird dann auch wohl Fließpapier gelegt, welches wegen seines dichteren Gefüges und seiner die Flüssigkeiten einsaugenden Eigenschaft zu diesem Behufe am meisten geeignet ist.

---

1 S. *Presse, hydrostatische.*

Bei weitem am häufigsten kommt das Filtriren bei *pharmaceutischen* und *chemischen* Processen vor. Hierbei ist hauptsächlich zu beobachten, 1. daſs das Filtrum von der zu filtrirenden Flüssigkeit nicht zerstört werde, 2. daſs keine Bestandtheile von jenem in diese übergehen; 3. daſs die Flüssigkeit durch das Filtrum dringe. Hiernach sind wollene Zeuge und graues Flieſspapier für alkalische Laugen nicht geeignet, wohl aber ungeleimtes Druckpapier und leinene oder auch baumwollene Zeuge; starke Säuren aber können nur durch gewaschenen feinen Quarzsand oder pulverisirtes Glas filtrirt werden. In bei weitem den meisten Fällen bedient man sich des ungeleimten Druckpapiers, welches zu diesem Zwecke vorzüglich geeignet ist, biegt dasselbe kegelförmig zusammen, oder legt es von der Mitte aus in eine Menge nach oben an Breite zunehmende Falten, stellt es in einen aus Holzstäbchen oder Glasröhrchen verfertigten kegelförmigen Filtrirkorb, oder gewöhnlicher in einen gläsernen Trichter, in welchen man zugleich einige feine Stäbchen von Glas oder Holz oder Stroh- und Gras-Hälmchen stellt, damit das Durchseihen nicht durch zu nahes Anliegen an die Wandungen des Trichters erschwert werde, welches übrigens bei einem gut gefalteten Filtro nicht nöthig ist [1].

Die Filtra werden zu gar vielfachen Zwecken gebraucht, z. B. zum *Auslaugen*, *Aussüſsen* u. dgl., hauptsächlich aber bei den *Analysen*, um die in den Flüssigkeiten aufgelöseten Substanzen von den in ihnen unlösbaren zu scheiden. Ist es hierbei bloſs um die Flüssigkeit und die in ihr enthaltenen Substanzen zu thun, so wird das Filtrum unbeachtet weggeworfen. Selten ist dieses aber der Fall, sondern meistens verlangt man nicht bloſs die Flüssigkeit von den in ihr enthaltenen unaufgelöseten Substanzen zu trennen, sondern ist dabei zugleich auch genöthigt, die Quantität beider nach Maſs und Gewicht zu bestimmen. In der Regel aber bleiben Theile der festen Stoffe am Filtro hängen, und wenn die Quantitäten dann geringe sind, so erschwert dieses eine genaue Gewichtsbestimmung. Um die letztere zu erhalten, wendet der Chemiker verschiedene, hier nicht sämmtlich zu erwähnende Mittel an, unter denen eins der gewöhnlichsten ist, das hygroskopisch wirkende Filtrum vorher auf einen

---

1 Vergl. Encyclopédie methodique III. 163. Klaproth und Wolf chemisches Wörterbuch I. 683.

bestimmten Grad der Wärme, z. B. die des siedenden Wassers, zu erheben, zu wiegen, nachher durch einen gleichen Hitzegrad wieder auf gleiche Weise auszutrocknen, und die Quantität der adhärirenden Theile durch die Zunahme des Gewichts zu bestimmen.

Jüngsthin hat DONOVAN[1] einen Filtrir-Apparat angegeben, vermittelst dessen während der Operation des Filtrirens der Zutritt der äufseren Luft abgehalten wird, für diejenigen Fälle, in denen Bestandtheile aus derselben sich mit der zu filtrirenden Substanz verbinden könnten. Die ganze Einrichtung ist aus der Figur leicht erkennbar. Es ist nämlich a b der Trichter, durch dessen etwas weite Oeffnung das Filtrum oder die das Filtriren bewirkende Substanz eingebracht, und er selbst dann mit der zu filtrirenden Flüssigkeit angefüllt wird. Das untere Ende desselben ist in das Gefäfs c eingeschmirgelt, und damit die in diesem enthaltene Luft das Ablaufen der Flüssigkeit nicht hindere, ist seitwärts die gebogene Röhre g angebracht, in deren Oeffnung die zweimal rechtwinklich gebogene Röhre eingeschmirgelt ist, deren anderes Ende mit einem gleichfalls eingeschmirgelten hohlen Glasstöpsel die obere Oeffnung des Trichters verschliefst. Leichter und wohlfeiler wählt man eine blofse zweimal gebogene Glasröhre, und steckt deren Enden durch hohle Korkstopfer, womit man zugleich die beiden angegebenen Oeffnungen luftdicht verschliefst. Hiernach steigt also die in dem Gefäfse c comprimirte Luft durch das Rohr wieder über die Flüssigkeit im Trichter, so dafs in beiden Räumen Luft von gleicher Dichtigkeit enthalten ist, und das Herabfliefsen der schwereren tropfbaren Flüssigkeit nicht gehindert wird. Hebt man die Röhre d e in die Höhe, so kann man neue Flüssigkeit in den Trichter nachgiefsen. Ganz unnütz, noch weniger aber zweckwidrig construirt kann dieser Apparat nicht genannt werden, indem er nicht blofs das Verdampfen der Flüssigkeit hindert, sondern insbesondere auch manche stark hygroskopisch wirkende Flüssigkeiten gegen die Aufnahme der Feuchtigkeit aus der atmosphärischen Luft schützt. Vermittelst desselben lassen sich daher auch concentrirte Säuren leicht filtriren, in welchem Falle das untere Ende des Trichters ganz unten mit gröberen, weiter herauf aber mit zunehmend feineren Stücken zerstofsenen Glases angefüllt wird.

Fig. 42.

---

1 Ann. of Phil. N. S. XI. 115.

Vorzüglich hat man sich häufig bemühet, durch die Processe des Filtrirens trübes Wasser reiner, klarer und somit angenehmer trinkbar zu machen. Daſs völlig in demselben aufgelösete Substanzen, namentlich Salze, auf diese Weise nicht aus ihm geschieden werden können, man daher nicht vermögend ist, das Seewasser hierdurch trinkbar zu machen, entdeckte man bald, und lieſs sich dieses auch aus theoretischen Gründen erwarten, wohl aber lassen sich die verunreinigenden und trübenden Substanzen hierdurch abscheiden. Weil eine solche Filtrirung in der Regel im Groſsen geschehen muſs, und keine bedeutende Kosten verursachen darf, so ahmt man hierbei am besten die natürlichen Filtrationen nach, und läſst das Wasser durch eine hinlänglich dicke Lage Sand laufen, welche leicht durch eine neue ersetzt werden kann. Allein das trübe Wasser hat in der Regel thierische und vegetabilische Stoffe aufgelöset, welche ihm einen widerlichen Geschmack geben, der Gesundheit nachtheilig sind, und durch eine solche einfache Filtrirung nicht abgeschieden werden können; dennoch aber liegt gar viel daran, hiergegen ein Mittel zu finden, da manche Gegenden kein anderes als auf solche Weise verunreinigtes Wasser haben. Als daher Lowitz die antiseptische oder fäulniſszerstörende Eigenschaft der frischen Holzkohle entdeckt hatte, benutzte man diese Substanz zu dem genannten Zwecke. Lowitz selbst wandte $\frac{1}{12}$ des Gewichtes frisch ausgeglühete und pulverisirte Holzkohle an, mischte das unreine Wasser damit und filtrirte es dann, oder er lieſs dasselbe durch die festgestampften pulverisirten Kohlen filtriren[1]. Es ergiebt sich indeſs bald, daſs dieses Mittel zwar genügend, aber im Groſsen zugleich mühsam und kostspielig ist. Nachher entdeckte er, daſs ein Zusatz von Schwefelsäure die reinigende Kraft der Kohlen bedeutend verstärke, indem 24 Tropfen Schwefelsäure zu 6 gros Kohlenpulver getröpfelt die Kraft des letzteren so sehr erhöheten, daſs es nur $\frac{1}{85}$ desselben dem Gewichte nach bedurfte, um dem Wasser seinen faulen Geschmack zu nehmen. Aber auch dieses Mittel ist wegen seiner Kostbarkeit und Weitläuftigkeit nicht in Anwendung gekommen, auſser in den sogenannten unveränderlichen Filtrirapparaten, welche noch eine kurze Erwähnung verdienen.

---

1 Nov. Act. Pet. VI. Hist. p. 63. Ebend. X. 187. und ein ausführlicher Nachtrag ebend. XV. 326. Vergl. Ann. de Chim. XVIII. 88.

Im Anfange dieses Jahrhunderts nämlich machten Smith, Cuchet und Montfort in Paris die von ihnen erfundenen Wasserreinigungsmaschinen unter dem pomphaften Namen der *unveränderlichen Filtrir-Apparate* (filtres inalterables, filtres depuratoires, fontaines filtrantes) bekannt, und zeigten auch durch einige angestellte Versuche die unglaubliche Kraft derselben, indem höchst unreines, stinkendes und mit modernden thierischen Stoffen gesättigtes Wasser oder Weingeist in die Maschine gegossen wurden, und ganz rein, klar und trinkbar abliefen. Wegen dieser Wirkungen und unter der Voraussetzung, dafs die Apparate diese ihre Kraft unveränderlich beibehalten würden, schafften sich viele dieselben an, ungeachtet ihrer Kostbarkeit. Als sie aber von einigen Sachkennern aus einander genommen und näher untersucht wurden, ergab sich bald, dafs sie ganz nach dem *Lowitz'schen Principe* construirt waren, und daher auf die Eigenschaft der Unveränderlichkeit durchaus keinen Anspruch machen konnten. Sie bestanden nämlich aus einer Lage Badeschwamm, um die gröbsten Unreinigkeiten zurück zu halten, und unter dieser aus abwechselnden Schichten von Sand und Kohlenpulver, wovon der erstere die feineren verunreinigenden Stoffe mechanisch zurück hielt, letzteres aber die eigentliche Zerstörung derselben bewirkte. Es ergab sich sonach eben so klar aus theoretischen Gründen als aus genauen prüfenden Versuchen einer eigends hierzu vereinigten Commission, dafs sie ungeachtet ihrer anfänglichen auffallenden Wirkungen ihre Kraft bald verlieren mufsten, weil die Badeschwämme verstopft und die Kohlen allmälig mit den verunreinigenden Substanzen gesättigt wurden [1]. In einigen, etwas längere Zeit wirksamen Maschinen wurden auch aufser den angegebenen Schichten abwechselnde von Braunstein und Sand gefunden, indem der Braunstein zwar stark antiseptisch wirkt, aber wegen leicht möglicher und schwer zu controlirender Verunreinigung mit nachtheiligen Substanzen nach Pfaff [2] verworfen werden mufs. Uebrigens war die Einrichtung dieser Maschinen, welche auch an verschiedenen andern

1 Ann. de Chim. LI. 36. Scherer's allg. Journ. d. Chem. X. 411. Gehlen's neues allg. Journ. d. Chem. IV. 449. G. XIII. 103. XXI. 179.

2 Ueber einfache und wohlfeile Wasserreinigungsmaschinen. Kiel, 1813. S. 7.

Orten, namentlich durch Dr. Pinçon in Hamburg nachgemacht wurden, im Allgemeinen dieselbe, mit dem bedeutenden Unterschiede, daſs in den meisten das Wasser von oben durch die verschiedenen läuternden Schichten dringt und unten abgezapft wird, bei einigen aber zur Erreichung eines gröſseren Effectes zuerst durch eine Reihe von Schichten herabsinkt, und dann durch eine zweite wieder hinauf getrieben wird, um über derselben abgelassen zu werden, oder umgekehrt.

Die gerügten Mängel der beschriebenen Filtrirapparate und ihr hoher Preis bewirkten, daſs sie des anfänglich von ihnen gemachten Aufhebens ungeachtet bald wieder in Vergessenheit geriethen, und an den meisten Orten sind sie auch schlechthin überflüssig, weil man nicht leicht Grund hat, faules Wasser trinkbar zu machen, und sie daher hauptsächlich nur als physikalische Merkwürdigkeit einigen Werth haben konnten. In solchen Gegenden übrigens, wo die Natur des Bodens nur moriges und trübes Wasser darbietet, z. B. in marschlandigen und torfreichen Districten, ist die Reinigung des Wassers im Groſsen selbst aus Rücksichten auf die Gesundheit ein dringendes Bedürfniſs. Eine Maschine, womit sich dieses einfach, bequem und ohne groſse Kosten erreichen läſst, hat C. H. Pfaff[1] ausführlich beschrieben, und sie ist um so mehr zu empfehlen, als sich ihre Brauchbarkeit durch die Erfahrung bestätigt hat. Der ganze, in beliebiger Gröſse nach dem jedesmaligen Bedürfnisse auszuführende Apparat besteht aus drei Stücken, welche am besten getrennt werden, sich aber leicht aus einander nehmen lassen, der Dauerhaftigkeit wegen von Eichenholz, zur Vermeidung eigener Fäulniſs inwendig leicht verkohlt und zur gröſseren Haltbarkeit mit eisernen Bändern beschlagen seyn müssen. Es ist dann A ein gewöhnlicher Eimer, welcher oben mit einem Deckel zu gröſserer Reinlichkeit verschlossen seyn kann, unten aber auf einem Brete feststeht, wodurch zugleich das Eindringen des Staubes verhütet wird. In diesen wird das zu filtrirende Wasser gefüllt, und läuft in sehr feinen Strahlen oder selbst nur tropfenweise durch drei in der Mitte dicht neben einander im Boden befindliche Löcher, welche durch gemeine Badeschwämme verstopft sind. Unter diesem Gefäſse befindet sich die eigentliche Filtrirtonne, eine gewöhnliche Tonne, wel- Fig. 43.

1 a. a. O.

indeſs wenigstens 2 F. hoch seyn muſs, damit der vom Wasser zu durchlaufende Weg nicht zu kurz werde. In dem oberen beweglichen Deckel befinden sich einige Löcher um die Mitte herum, damit das durch die Schwämme dringende Wasser durchflieſsen könne, dessen Quantität davon abhängt, ob die Schwämme im Boden des Gefäſses A, deren Zahl nach Befinden bei gröſserem Durchmesser des ganzen Apparates auch vermehrt werden kann, fester oder loser eingedrückt sind. Die Tonne hat zwei eiserne Handhaben, um sie bequem abheben zu können, und ruhet vermittelst eines Bretes auf dem unteren Gefäſse C, welches zur Aufnahme des filtrirten Wassers bestimmt, zum Ablassen desselben mit einem Hahne versehen, und auf eine Unterlage gestellt ist, um das Wasser bequem in geeigneten Gefäſsen auffangen zu können.

Bei den einzelnen Theilen ist dann noch Folgendes zu bemerken. Das wesentlichste Stück des ganzen Apparates ist die eigentliche Filtrirtonne. Sie enthält zu oberst eine Lage Sand, welcher vorher geschlemmt und gewaschen seyn muſs, damit er keine lehmige und erdige Theile mehr enthält. Hierauf folgt eine starke Lage Kohlen von der Gröſse einer Wallnuſs bis zu der einer Erbse, so daſs die gröberen unten, die mittleren in der Mitte und die feinsten oben liegen. Sie können von jeder Art Holz seyn, jedoch sind die glänzenden und klingenden die besten, auch müssen sie vorher gewaschen werden, bis sie das Wasser nicht mehr schwärzen. Vor allen Dingen hat man dahin zu sehen, daſs sie völlig ausgebrannt sind, und thut daher wohl, sie in bedeckten hessischen Tiegeln oder eisernen Gefäſsen unmittelbar vor dem Gebrauche auszuglühen, bis sie durchaus keinen Rauch mehr geben[1]. Unter den Kohlen liegt

Fig. 44.

1 Da die Anlegung solcher Filtrirapparate in vielen sumpfigen Gegenden selbst auf dem platten Lande der Gesundheit wegen Bedürfniſs werden kann, wo man indeſs keine erfahrne Techniker antrifft, so will ich hinzusetzen, daſs das Ausglühen der Kohlen, als einzige bei der Construction vorkommende ungewöhnliche Arbeit doch sehr leicht bewerkstelligt wird, indem die hessischen Tiegel aus jeder Apotheke zu haben sind, und zum Behuf dieses Glühens beliebig oft gebraucht werden können, wenn man sie nicht durch groſse Unvorsichtigkeit zerbricht. Bedeckt werden sie mit einem gewöhnlichen irdenen, am besten an der inneren Seite nicht glasirten, Deckel, und man thut wohl, diesem in der Mitte ein Loch zu geben, beim Auf-

die dritte und unterste Lage, welche aus groben, vorher gleichfalls rein ausgewaschenem Kiessande besteht, dessen Druck gegen den unteren, im Boden der Filtrirtonne befindlichen, Badeschwamm durch einen umgestürzten Topf verhindert wird. Dafs endlich das durch die drei genannten Lagen filtrirte Wasser zuletzt durch den im Boden befindlichen Schwamm in das untere, zum Aufbewahrungsbehälter dienende Gefäfs läuft, ist aus der Zeichnung für sich klar.

Sollen diese Maschinen die gewünschten Dienste leisten, so ist bei ihnen die höchste Reinlichkeit erforderlich. Daher müssen die Schwämme von ihrem Gebrauche ausgekocht und in warmen Wasser so lange ausgewaschen werden, bis das Wasser aus ihnen klar abläuft. Ferner müssen das obere und untere Gefäfs alle 8 bis 14 Tage ausgewaschen und gereinigt werden, und dieses erstreckt sich auch auf die dann herauszunehmenden 3 Schwämme des oberen Eimers, auch ist es gut, wenn der ganze Apparat auswärts mit Oelfarbe angestrichen ist. Die eigentliche Filtrirtonne dagegen hat eine ungleich längere Dauer, indem diese sich der Erfahrung nach auf 2 bis 2½ Jahre erstreckt, ohne dafs das filtrirte Wasser eine Abnahme der Wirkungsfähigkeit zeigt; jedoch mufs die obere Sandlage alle drei Monate mit einem Löffel abgenommen und erneuert werden. Indem man aber viel reines Wasser zum Reinigen der Substanzen bei der Herstellung des Apparates gebraucht, das Bedürfnifs desselben aber in den heifsen Monaten am stärksten ist, weil dann das Wasser flacher Brunnen in solchen Gegenden leicht einen fauligen Geschmack annimmt, so kann die Herstellung oder Erneuerung des Apparates in solchen Jahreszeiten vorgenommen werden, in denen am meisten klares Wasser vorhanden ist. Andere Apparate, welche zur Reinigung des Wassers durch Filtrirung vorgeschlagen sind, von dem beschriebenen aber in keinem wesentlichen Stücke abweichen, übergehe ich der Kürze wegen mit Stillschweigen.

---

legen aber die zwischenbleibenden Fugen mit Lehm zu verstreichen, und diesen vorher trocknen zu lassen, um die etwa entstehenden Risse erst auszubessern. Endlich kann jeder Hafner einen inwendig nicht glasirten Topf für diesen Zweck verfertigen, oder man kann ihn von Pfeifenthon herstellen lassen. Das Ausglühen der Kohlen geschieht nach dem Verhältnifs der Gröfse dieser Töpfe eine halbe bis eine ganze Stunde in gewöhnlichem Kohlen- oder Torf-Feuer.

Nur eine kurze Erwähnung verdient noch der tragbare Filtrirapparat, welchen Chenevix[1] vorgeschlagen hat, und bei welchem bloſs die Kohle zum Reinigen des Wassers dient. Das Ganze besteht aus einem cylindrischen Gefäſse von Weiſsblech, unten mit einem sehr stumpfen Trichter. Oberhalb des letzteren wird ein kreisrundes Blech eingelegt, dessen halbe Fläche mit sehr feinen Löchern versehen ist. Ueber dieses Blech werden zerstoſsene und gesiebte Kohlenstückchen von der Gröſse der Schieſspulverkörner gelegt, und mit einem ähnlichen Bleche bedeckt, bei welchem gleichfalls nur die eine Hälfte mit kleinen Löchern versehen ist, über welchem dann ein Raum zum Eingieſsen des zu filtrirenden Wassers bleibt. Die durchlöcherten Hälften beider Bleche stehen einander in der Art gegenüber, daſs eine jede der undurchlöcherten des anderen parallell liegt, wodurch also das Wasser genöthigt wird, durch die Löcher des oberen Bleches zu flieſsen, dann die Schicht des Kohlenpulvers in schräger Richtung zu durchdringen, und aus der unteren Oeffnung des Trichters abzulaufen. Ein diesem ähnlicher, von Paul in Genf vorgeschlagener Filtrirapparat[2] benutzt bloſsen Sand zum Reinigen des Wassers. Er besteht aus lauter ähnlichen in einander gesetzten Cylindern, deren mittelster mit Sand erfüllt ist und zur Aufnahme und ersten Durchseihung des Wassers dient. Das durchgelaufene Wasser steigt in dem Sande des zweiten Cylinders in die Höhe, gelangt an das obere Ende des dritten Bechers, um in dem Sande desselben abermals herabzusinken, und so fort nach der Zahl der in einander stehenden Cylinder, worauf es zuletzt unten abläuft. Ist die Zahl dieser Cylinder etwas groſs, so wird der Apparat hierdurch stets weniger tragbar, dessen Construction übrigens ganz einfach ist, auch könnte man leicht einige Lagen Sand mit Kohlen vertauschen, um seine Kraft dadurch zu verstärken. Am zweckmäſsigsten für den ökonomischen Gebrauch bleibt indeſs allezeit der von Pfaff angegebene, und deswegen auch ausführlicher beschriebene Apparat. *M.*

---

1 Bibl. Brit. XXXVI. 199.

2 Annales des Arts et Manufactures XLV. 326.

Finsternisse.

Verfinsterungen der Himmelskörper, *Eclipses*[1] s. *Defectus Solis vel Lunae;* Éclipses; *Eclipses.*

Der Mond sowohl als die Sonne werden zuweilen während sie am heiteren Himmel stehen, ganz oder zum Theil unsichtbar oder verfinstert; diese Verfinsterungen heifsen *total*, wenn der Himmelskörper nach seiner ganzen Gröfse unsern Augen verdeckt oder beschattet ist, *partial* dagegen, wenn noch ein Theil des Himmelskörpers in seinem gewöhnlichen Lichte sichtbar bleibt. Auch die Monde anderer Planeten, namentlich die Jupiters-Monde, werden zuweilen auf ähnliche Weise verfinstert.

Mondfinsternisse.

Wenn der Mond ganz erleuchtet erscheint, beim Vollmonde, so sieht man ihn zuweilen sein Licht nach und nach so verlieren, als ob eine dunkle Scheibe von Osten gegen Westen vor ihn rückte, ihn zuerst immer mehr verdeckte und dann, bei ihm vorbeirückend, ihn wieder verliefse. Wir sagen dann, es sey eine *Mondfinsternifs*, *Eclipsis lunae*; Éclipse de la Lune; *Eclipse of the Moon.* Da die Mondfinsternisse nur dann statt finden, wenn es Vollmond ist, und überdies nur zu der Zeit, da der Mond sehr genau der Sonne gegenüber steht, so können wir über die Ursache dieser Erscheinung nicht lange zweifelhaft seyn. Die Erde, als eine dunkle Kugel, mufs ohne Zweifel nach der von der Sonne abwärts gekehrten Seite hin einen Schatten werfen, der, weil die Erde kleiner als die Sonne ist, kegelförmig seyn, doch aber sich bis zu einer gröfsern Entfernung hin, als wo der Mond sich befindet, erstrecken mufs. Geht der Mond durch diesen Schatten, so wird, so lange er noch nicht ganz in den Schatten getreten ist, der kreisförmige Umrifs des Schattens sich auf der Oberfläche des Mondes zeigen oder es wird sich die Erscheinung so darstellen, als ob eine dunkle Scheibe den Mond zum Theil bedeckte; je mehr der Mond gegen den Mittelpunct des Schattens zurückt, desto mehr wird sich sein noch erleuchteter Theil verkleinern, und

---

1 Von ἐκλείπω, deficio.

dieser wird endlich ganz verschwinden, nach einiger Zeit aber, wenn der Mond den Raum des Erdschattens durchlaufen hat, zeigt er sich an der andern Seite desselben wieder austretend, und erscheint endlich wieder in vollem Lichte. Da der Mond sich schneller als die Sonne scheinbar unter den Sternen von Westen nach Osten fortbewegt, so erreicht seine Ostseite zuerst den Erdschatten und die dunkle Scheibe scheint daher von Osten her vor ihm vorbei zu rücken.

Wenn der Mond bei seiner Bewegung um die Erde genau in der Ekliptik bliebe, so würde er bei jedem Vollmonde der Sonne gerade gegenüber stehen, und der Schatten der Erde würde bei jedem Vollmonde auf ihn fallen; aber die Mondbahn ist gegen die Ekliptik geneigt und durchschneidet diese nur in zwei einander gerade gegenüber liegenden Puncten, den *Knoten der Mondbahn;* aus diesem Grunde geht der Mond beim Vollmonde weit öfter neben dem Erdschatten vorbei, als er von demselben erreicht wird, und die meisten Vollmonde zeigen sich uns ohne Verfinsterung. Nur dann, wenn der Vollmond nahe genug mit dem Eintritte in den Knoten zusammen trifft, oder wenn der Mond beim Vollmonde nur sehr wenig von der Ekliptik entfernt steht, wird er verfinstert, und die Bestimmung derjenigen Vollmonde, die eine Mondfinsternifs darbieten, hängt daher davon ab, dafs man wisse, wo die Mondbahn die Ekliptik schneidet. Wenn diese Knoten, wie es im Jahre 1828 der Fall ist, im Stier und im Scorpion liegen, das heifst, in den Puncten der Ekliptik, wo uns die Sonne gegen Ende des April's und des October's erscheint, so können auch nur die Vollmonde die ungefähr in diese Zeiten fallen, Mondfinsternisse darbieten. Blieben die Mondknoten immerfort unveränderlich in denselben Puncten der Ekliptik, so würden die Mondfinsternisse stets nur in gewissen Jahreszeiten sich ereignen; da aber die Durchschnittspuncte der Mondbahn mit der Ekliptik in 18 Jahren beinahe durch den ganzen Umfang der Ekliptik fortrücken, so treffen in verschiedenen Jahren die Mondfinsternisse in verschiedene Jahreszeiten und nach bestimmten Perioden kommen sie wieder in dieselben Jahreszeiten.

Um für einen bestimmten Vollmond zu finden, ob der Mond verfinstert werde, mufs man den scheinbaren Durchmesser des Erdschattens in der Gegend, wo der Mond durch denselben, oder vielleicht an demselben vorbei geht, berechnen.

Der Mittelpunct des Erdschattens liegt allemal in der Ekliptik und wenn zu der Zeit, da der Mittelpunct des Mondes sich dem Mittelpuncte des Erdschattens am nächsten befindet, der Abstand beider von einander mehr, als die Summe der scheinbaren Halbmesser beider beträgt, so geht der Mond unverfinstert an dem Erdschatten vorbei. Um zuerst den wahren Durchmesser des Erdschattens t r an dem Orte, wo der Mond durchgeht, zu finden, hat man Folgendes zu berücksichtigen. Fig. 45.

Wenn SCH die Linie durch der Erde und der Sonne Mittelpunct ist, BTH beide Körper berührt, so sind die auf BH senkrechten Halbmesser beider Körper mit einander parallel und es ist

$$SH : CH = SB : CT$$

$$\text{oder} \quad CH = \frac{CS \,.\, CT}{SB - CT}.$$

LM sey die Bahn des Mondes, mr der Halbmesser des Erdschattens in der Gegend, wo der Mond sich befindet, so ist

$$mr : CT = Hm : CH,$$

$$\text{oder} \quad mr : CT = CH - Cm : CH,$$

$$\text{das ist } mr = CT\left(1 - \frac{Cm}{CH}\right)$$

$$= CT - \frac{Cm \,.\, (SB - CT)}{CS}.$$

Vom Mittelpuncte der Erde aus gesehen, erscheint mr unter dem Winkel mCr, den man $= \frac{mr}{Cm}$ setzen kann, weil bei so kleinen Winkeln, der Bogen mit der Tangente verwechselt werden kann. Der scheinbare Halbmesser des Erdschattens ist also $= \frac{CT}{Cm} - \frac{SB}{CS} + \frac{CT}{CS}$, und hier ist $\frac{CT}{Cm}$ der scheinbare Halbmesser der Erde vom Monde aus gesehen, $\frac{SB}{CS}$ der scheinbare Halbmesser der Sonne von der Erde aus gesehen, und $\frac{CT}{SC}$ der scheinbare Halbmesser der Erde von der Sonne aus gesehen. Der scheinbare Halbmesser der Erde vom Monde aus gesehen stimmt mit der Parallaxe des Mondes, der scheinbare Halbmesser der Erde von der Sonne aus gesehen stimmt mit der Parallaxe der Sonne überein, und es ist daher der scheinbare

Halbmesser des Erdschattens = der Summe der Parallaxe von Sonne und Mond vermindert um den scheinbaren Halbmesser der Sonne. Hieraus kann man die Grenze bestimmen, wie gross höchstens und wenigstens der Halbmesser des Erdschattens erscheint; denn da die grösste Mondparallaxe niemals 62′ erreicht, die Sonnenparallaxe 9 Sec. ist und der kleinste scheinbare Durchmesser der Sonne (zur Zeit ihrer grössten Entfernung) 15′ 45″ beträgt, so ist der scheinbare Halbmesser des Erdschattens nie über 62′ + 9″ — 15′. 45″ = 46′. 24″. also nie über 46¼ Min., und wenn dann des Mondes scheinbarer Halbmesser = 16¾ Min. ist, so findet eine Verfinsterung erst statt, wenn der Mittelpunct des Mondes 63¼ Min. vom Mittelpuncte des Erdschattens entfernt ist; 63¼ Min. Abstand des Mondes von der Ekliptik zur Zeit des Vollmondes ist die Grenze, wobei die Mondfinsternisse statt zu finden aufhören. Aber so groſs erscheint nicht immer der Erdschatten und der Mond, sondern wenn der Mond entfernter von der Erde ist, so muſs er weniger von der Ekliptik entfernt seyn, wenn er noch verfinstert werden soll, ja selbst wegen der ungleichen scheinbaren Gröſse der Sonne, die bei der geringsten Entfernung von der Erde 16′ 18″ Halbmesser hat, vermindert sich diese Grenze ein wenig für die Zeit der Sonnennähe.

Jene Zahl von ungefähr 64 Min., über welche hinaus die Breite des Mondes zur Zeit des Vollmondes, wenn noch eine Mondfinsterniſs statt finden soll, nicht gehen darf, zeigt, wie weit der Mond vom Knoten entfernt, noch zum Theil verfinstert werden kann, nämlich wenn der Abstand vom Knoten weniger als 64′. Cotg. 5° oder weniger 12¼ Grad beträgt. Daher kann es sich ereignen, daſs um die Zeit, da die Sonne sich im Knoten der Mondbahn befindet, keine Mondfinsterniſs eintritt, nämlich dann wenn die Sonne ungefähr mitten zwischen zwei Vollmonden den Knoten der Mondbahn erreicht, also gegen die Zeit des nächsten Vollmondes schon um 15 Grade vom Knoten entfernt ist. Dieses wird sich noch leichter ereignen, wenn der Vollmond mit der gröſsten Entfernung des Mondes von der Erde zusammentrifft, indem dann die Summe der scheinbaren Halbmesser des Erdschattens und des Mondes bis auf 53′ herabgehen kann, und der Mond nicht über 10 Grade vom Knoten seyn darf, wenn eine Mondfinsterniſs eintreten soll.

Wenn der Mond im Vollmonde nicht über 9½ Grad vom

Knoten entfernt ist, so erfolgt gewiſs eine Mondfinsterniſs und diese ist nur partiell, wenn der kleinste Abstand des Mondsmittelpunctes vom Mittelpuncte des Erdschattens mehr als der Unterschied der scheinbaren Halbmesser des Mondes und des Erdschattens beträgt; daher treten totale Mondfinsternisse nur ein, wenn die Breite des Mondes beim Vollmonde weniger als 30 Min. beträgt, oder der Mond nicht über 5½ Grad vom Knoten entfernt ist.

Wenn der Mond gerade durch die Mitte des Erdschattens geht, so ist er allemal eine ziemlich lange Zeit ganz verfinstert, und diese totale Verfinsterung kann gegen 2 Stunden dauern; gewöhnlich ist sie bedeutend kürzer, weil selten der Vollmond so sehr nahe mit dem Eintritte in den Knoten zusammentrifft.

Die Berechnung einer Mondfinsterniſs beruht, wenn sie ohne Hülfe schon berechneter Ephemeriden angestellt werden soll, darauf, daſs man aus den Tafeln die wahren Orte des Mondes und der Sonne berechne, daraus die Zeit des wahren Vollmonds und das relative Fortrücken des Mondes in Beziehung auf den Mittelpunct des Erdschattens bestimme. Hieraus ergiebt sich dann der Augenblick, wo beide Mittelpuncte so weit von einander abstehen, als die Summe der scheinbaren Halbmesser des Erdschattens und des Mondes; und dieses ist der Augenblick des *Eintritts* in den Erdschatten vor dem Zeitpuncte der genauen Opposition und der Augenblick des *Austritts* nach dem Zeitpuncte der genauen Opposition oder des wahren Vollmondes. Eben so erhält man aus jenen Bestimmungen den Zeitpunct, da der Abstand beider Mittelpuncte von einander gleich der Differenz jener Halbmesser ist, und damit den Anfang und das Ende der totalen Verfinsterung. Wenn man schon berechnete Ephemeriden vor sich hat, so kann man, um die Umstände der Finsternisse zu übersehen, sich einer Zeichnung bedienen. Es stelle AB die Ekliptik vor, C den Ort, den der Mittelpunct des Erdschattens einnimmt, CD den aus der Parallaxe des Mondes und der Sonne nebst dem Halbmesser der Sonne berechneten Halbmesser des Erdschattens. Man nehme nun aus den Ephemeriden den Abstand des Mondes von der Opposition für jede Viertelstunde kurz vor und kurz nach der Opposition, trage diesen, so wie CE, CF, nach eben dem Maſsstabe, nach welchem der Erdschatten gezeichnet ist, auf, und nehme EG, FH der jedesmal zugehörigen Breite des Mondes gleich, den Halb-

Fig. 46.

messer des Mondes aber zeichne man nach eben dem Maſsstabe, wie die übrigen Gröſsen, so zeigt die Figur die Erscheinung der Finsterniſs zu den verschiedenen Zeiten, wo sich der Mittelpunct des Mondes in G, H u. s. w. befindet. Wenn die Zeichnung groſs und genau genug ausgeführt ist, so kann man den Zeitpunct des Eintritts in den Schatten, des Austritts aus demselben, wenn des Mondes Mittelpunct in L ist, den Anfang der totalen Verfinsterung, wo der Mittelpunct des Mondes in G ist, und die innere Berührung in N statt findet u. s. w. daraus abnehmen.

Die bisherigen Bestimmungen betreffen nur den eigentlichen *vollen Schatten* der Erde, aber um diesen befindet sich noch ein *Halbschatten*. Es ist nämlich leicht zu übersehen, daſs in den kegelförmigen Raum HET, dem geradelinigen Fortgange der Lichtstrahlen gemäſs, gar kein Sonnenlicht gelangen kann, daſs aber auch zwischen m und P keine volle Erleuchtung statt findet, indem die Erde hier noch einen Theil der Sonne verdeckt; dieser Halbschatten wird durch die gerade Linie ATP begrenzt, welche Sonne und Erde berührt. Wegen dieses Halbschattens erscheint der Erdschatten auf dem Monde nie ganz scharf begrenzt, sondern den dunkelsten Schatten umgiebt ein verwaschener Rand, welcher immer matter verdunkelt ist, je weiter man sich von dem eigentlichen Schatten entfernt. Wegen dieses Halbschattens ist es nicht gut möglich, den Augenblick, wann der Erdschatten einen bestimmten Fleck im Monde erreicht, strenge anzugeben. Wenn wir uns einen Beobachter auf dem Monde denken, so ist diesem die Sonne gänzlich verfinstert, oder er sieht eine totale Sonnenfinsterniſs, wenn er sich im vollen Schatten der Erde befindet; ist er dagegen nur im Halbschatten, so erscheint ihm die Erde so vor der Sonne, daſs sie einen Theil derselben verdeckt.

Fig. 45.

Da die Mondfinsterniſs in einer wirklichen Beraubung des Lichts besteht, so sehen alle die Bewohner der Erde, denen der Mond sichtbar ist, den Anfang, das Ende und die einzelnen bestimmten Umstände der Verfinsterung genau zu derselben Zeit. Aus diesem Grunde kann die Beobachtung einer Mondfinsterniſs an zwei Orten zu Bestimmung des Längenunterschiedes dieser Orte dienen, so fern sie übereinstimmende Zeitmomente angiebt, nach welchen man die Mittagsunterschiede oder die Ungleichheit der nach dem wahren Mittage des einen und

des andern Ortes gestellten Uhren finden kann. Die Unsicherheit, welche der Halbschatten in die Bestimmung des Eintrittes der einzelnen Flecken in den Schatten bringt, verursacht aber, daſs diese Längenbestimmungen nicht bis auf kleine Zeittheile sicher seyn können.

Die *Gröſse* der Mondfinsternisse pflegt man nach Zollen und Sechzigsteln dieser Zolle, welche man Minuten nennt, anzugeben. Man theilt nämlich den Durchmesser des Mondes in 12 Theile, die hier Zolle genannt werden, und wenn bei der gröſsten Verfinsterung der breiteste Theil des unverfinsterten Mondes nur 1 Zoll beträgt, so ist es eine Finsterniſs von 11 Zollen. Wenn bei der gröſsten Verfinsterung der Rand des Erdschattens gerade auf den Mondrand fiele, so daſs der Mond völlig verdunkelt wäre, so hieſse die Finsterniſs 12 zöllig; dagegen wenn der Mond so tief in den Erdschatten eindringt, daſs der scheinbare Erdschatten da, wo er dem Mondrande am nächsten ist, noch $\frac{1}{12}$ oder $\frac{2}{12}$ des Monddurchmessers über den Rand hinausreicht, so heiſst die Finsterniſs 13 Zoll oder 14 Zoll groſs; und hieraus erklärt es sich, wie es Mondfinsternisse von 20 oder 21 Zoll geben kann.

Die Erscheinung, welche der Mond uns bei Mondfinsternissen darbietet, ist verschieden, indem der Mond bei der totalen Verfinsterung zuweilen ganz unsichtbar wird, zuweilen aber noch mit einem kupferfarbenen Lichte erscheint. Die Mondfinsternisse, wo der Mond ganz unsichtbar wird, sind selten; Kepler giebt die vom 9. December 1601 und 15. Jun. 1620 als solche an[1], und Hevel versichert[2], daſs man am 25. April 1642 den Mond bei der gänzlichen Verfinsterung selbst durch Fernröhre nicht habe auffinden können, obgleich der Himmel vollkommen heiter war. Hevel schlieſst hieraus mit Recht, daſs der Mond kein eigenes Licht besitze. In unsern Tagen verschwand der Mond gänzlich am 10. Juni 1816[3], und erst kurz vor dem Ende der totalen Verfinsterung bemerkte man einen neblichen Lichtschimmer, welcher zunahm, bis der helle Mondrand hervortrat. Das rothe Licht, welches der Mond oft noch bei der totalen Verfinsterung

---

1 Epist. astron. Copern. Lib. V.

2 Selenographia p. 117.

3 Astron. Jahrb. für 1819. S. 263.

zeigt, ist ohne Zweifel eine Wirkung der Strahlenbrechung in der Atmosphäre der Erde, welche nämlich die Lichtstrahlen so krümmt, daſs sie von allen Seiten her in den Raum hinein gelangen, welcher bei geradem Fortgange der Lichtstrahlen gar kein Licht empfangen würde. Man bemerkt daher auch, daſs dieses Licht da am schwächsten ist, wo der Mittelpunct des Erdschattens liegt, oder daſs die Seite des Mondes am dunkelsten erscheint, welche dem Mittelpuncte des Schattens am nächsten liegt. Die Verschiedenheit, welche sich in diesem, durch Refraction auf den Mond fallenden Lichte zeigt, muſs wohl in dem verschiedenen Zustande der Erd-Atmosphäre ihren Grund haben, und die Meinung, daſs die Mondfinsternisse zur Zeit der Nachtgleichen am meisten Licht auf dem verfinsterten Monde zeigen, weil an den Polen alsdann, um die Zeit des Sonnen-Aufgangs und Untergangs, vorzüglich starke Strahlenbrechung statt findet, würde viel für sich haben, wenn nicht Hevel's Beobachtung ein Beispiel vom Gegentheil gäbe.

Durch die Strahlenbrechung ist es auch möglich, den verfinsterten Mond schon vor dem Augenblicke des scheinbaren Sonnen-Unterganges über dem Horizonte zu sehen. Wenn der Mond, vom Mittelpuncte der Erde gesehen, ganz genau der Sonne gegenüber stände, so würde er, ohne Mitwirkung der Refraction, etwas später aufgehen, als die Sonne untergeht, weil wir ihn der Parallaxe wegen etwas später aufgehen sehen; diesen Unterschied hebt die Refraction gänzlich auf, uud es kann daher der verfinsterte Mond aufgehen, ja selbst der Mittelpunct des Erdschattens kann über dem Horizonte erscheinen, wenn die Sonne noch nicht untergegangen ist.

Sonnenfinsternisse.

Eclipses s. *Defectus Solis;* **Éclipses du Soleil;** *Solar-Eclipses.*

Zur Zeit des Neumondes sehen wir zuweilen die Sonne durch eine von Westen nach Osten scheinbar vor ihr vorbei rückende Scheibe verfinstert werden. Diese Verfinsterung zeigt sich nicht an allen Orten gleich und kann also nicht in einem wirklichen Dunkelwerden der Sonne bestehen, sondern die Ungleichheit der Erscheinung des Mondes ist gerade so, wie sie seyn würde, wenn ein runder, undurchsichtiger, uns viel nä-

her als die Sonne stehender Körper, vor sie tretend, uns ihr Licht entzöge. Da zur Zeit des Neumondes der Mond neben der Sonne vorbei geht, und da überdies die Sonnenfinsternisse sich nur dann ereignen, wenn der Neumond nahe mit dem Knoten oder mit dem Durchgange des Mondes durch die Ekliptik zusammen trifft, so ist es nicht schwer zu errathen, daſs der Mond es ist, der uns den Anblick der Sonne entzieht.

Wir unterscheiden *partiale* oder theilweise Verfinsterungen der Sonne von den *totalen* oder gänzlichen Verfinsterungen, und ferner *centrale* Verfinsterungen, wo der Mittelpunct des Mondes vor dem Mittelpuncte der Sonne vorbei geht, von denen, die nicht central sind. Da die Sonnenfinsterniſs nicht an allen Orten, wo sie sichtbar ist, gleich erscheint, so pflegt man die Orte vorzüglich anzugeben, denen sie central erscheint, und nur dann, wenn der Mittelpunct des Mondschattens nicht auf die Erde trifft, giebt es keinen Ort, wo auf der Erde die Finsterniſs central wäre. Da wo die Finsterniſs genau oder doch beinahe central ist, erscheint sie entweder *total* oder *ringförmig*; das erstere dann, wenn der Mond uns nahe genug ist, um die Sonne ganz zu verdecken; das andere, wenn er zu entfernt ist, und daher von kleinerm Durchmesser als die Sonne erscheint. In seltenen Fällen kann dieselbe Finsterniſs am einen Orte total, am andern nur ringförmig erscheinen. Indem nämlich der Mittelpunct des Mondschattens über der Erde fortgeht, trifft er nach und nach auf Orte, die ungleich entfernt vom Monde sind; diejenigen Beobachter also, welche bei der centralen Verfinsterung den Mond in oder nahe an ihrem Zenith erblicken, sehen ihn erheblich gröſser, als andere, denen er kurz vorher oder nachher die aufgehende oder untergehende Sonne verfinstert; daher kann, wenn der scheinbare Durchmesser des Mondes, vom Mittelpuncte der Erde aus gesehen, um etwas weniges kleiner ist als der scheinbare Durchmesser der Sonne, die Verfinsterung total seyn an den Orten, wo die Sonne nahe am Zenith central verfinstert erscheint, ringförmig da, wo man die Sonne central verfinstert aufgehen oder untergehen sieht[1].

An einem bestimmten Orte kann ferner die totale Verfinste-

1 v. Zach führt ein Beispiel einer solchen Finsterniſs an. Correspond. astron. III. 288, wo noch mehr historische Notizen über Sonnenfinsternisse vorkommen.

rung *ohne Dauer* oder *mit Dauer* seyn, je nachdem der scheinbare Durchmesser des Mondes nur gerade zureicht, die Sonne zu verdecken, oder gröſser ist. Die gröſste Dauer der totalen Verfinsterung ist 5 Minuten.

Die Berechnung der Sonnenfinsternisse wird durch die Parallaxe des Mondes, vermöge welcher derselbe an jedem Orte eine andere Lage gegen die Sonne hat, sehr erschwert. Wollte man die Rechnung bloſs für den Mittelpunct der Erde führen, so könnte dieses ziemlich eben so wie bei den Mondfinsternissen geschehen, aber dieses reicht nicht zu, da auf der Oberfläche der Erde Sonnenfinsternisse statt finden können, wenn auch der Schatten des Mondes den Mittelpunct der Erde gar nicht treffen könnte. Um zuerst zu bestimmen, wie weit der Mond, aus dem Mittelpuncte der Erde gesehen, noch von der Sonne entfernt seyn kann, wenn er schon für einige Orte auf der Erde die Sonne zu verfinstern anfängt, sey CS die vom Mittelpuncte C der Erde nach dem Mittelpuncte der Sonne gezogene Linie, Ar sey mit ihr parallel und As mache einen der Sonnenparallaxe gleichen Winkel $= 8\frac{1}{4}'' = p$ mit ihr, so sieht der Beobachter in A den Mittelpunct der Sonne nach der Richtung As; sAt sey dem scheinbaren Halbmesser der Sonne, tAv dem scheinbaren Halbmesser des Mondes gleich, und diese Halbmesser will ich q und Q nennen, so ist, wenn der Mond sich in tv befindet, SCv der geocentrische Abstand des Mondes von der Sonne. Offenbar aber ist $Sr = CA$ und wegen der bedeutenden Entfernung des Mondes $SCr = CvA = P =$ der Parallaxe des Mondes, und $SCs = P - p$; $rCv = rAv = q + Q$, also der geocentrische Abstand des Mond-Mittelpunctes vom Mittelpuncte der Sonne $= P - p + Q + q$. Eine Sonnenfinsterniſs fängt also auf der Erde an, wenn der von Westen her gegen die Sonne zu rückende Mond den Abstand erreicht hat, welcher aus der Sonne der scheinbaren Halbmesser und dem Unterschiede der Parallaxen zusammen gesetzt ist; hat der Mond östlich von der Sonne eben den Abstand wieder erreicht, so endiget sich für die Bewohner der Erde, welche die Sonnenfinsterniſs zuletzt sahen, diese völlig; erreicht der Mond gar nicht diese Nähe oder ist seine Breite zur Zeit des Neumondes gröſser, so sieht kein Bewohner der Erde die Sonne verfinstert, der Mondschatten geht an der Erde vorbei.

Fig. 47.

Die eben angegebene Bestimmung giebt die Grenzen der

Sonnenfinsternisse überhaupt an. Will man aber wissen, wie nahe bei der Sonne der Mond, geocentrisch beobachtet, stehen muſs, damit die Finsterniſs auf der Erde irgendwo central sey, so erhellet, daſs dann der von A aus gesehene Mittelpunct des Mondes mit dem Mittelpuncte der Sonne zusammen fallen oder nach der Richtung A s erscheinen muſs, so daſs der geocentrische Abstand beider Mittelpuncte $= SCs = P - p$ dem Unterschiede der Parallaxe gleich wird. Hieraus läſst sich also die Dauer der Central-Verfinsterung für die ganze Erde angeben, und diese Verfinsterung ist zugleich total, wenn der scheinbare Halbmesser $= Q$ des Mondes gröſser als der scheinbare Halbmesser der Sonne $= q$ ist. Um so viel, als der Unterschied $Q - q$ beträgt, kann der geocentrische Abstand beider Himmelskörper gröſser seyn, ehe die totale Verfinsterung aufhört, und $P - p + Q - q$ ist der geocentrische Abstand für Anfang und Ende der totalen Finsterniſs. Eben so ist $P - p + q - Q$ der geocentrische Abstand für Anfang und Ende der ringförmigen Verfinsterung, wenn die Sonne gröſser als der Mond erscheint.

Da $P = 62'$ der gröſste Werth ist, welchen die Parallaxe des Mondes je erreicht, und $Q = 16' 55''$, $q = 16' 18''$ die gröſsten Werthe der Halbmesser beider Himmelskörper sind, p aber nahe an $9''$ ist, so giebt $62' - 0' 9'' + 16' 55'' + 16' 18''$ die Grenze $= 1° 35'$ der Breite an, welche der Mond im Neumond haben muſs, wenn gewiſs keine Sonnenfinsterniſs mehr eintreten soll. Aber da P, Q, q klein seyn können, nämlich $= 53'$; $= 15' 34''$; $= 15' 45''$, so ist $53' - 0' 9'' + 15' 34'' + 15' 45''$, oder $1° 24' 10''$ die kleinste Grenze, wobei der Mond noch, ohne eine Finsterniſs zu veranlassen, bei der Sonne vorbei gehen kann, und so wie bei einer Breite gröſser als $1° 35' 4''$ gewiſs keine Sonnenfinsterniſs statt findet, so muſs dagegen nothwendig eine eintreten, wenn seine Breite beim Neumonde kleiner als $1° 24' 10''$ ist; und jene Grenze findet statt, wenn er in seiner Bahn noch beinahe $18\frac{1}{4}$ Grad, diese Grenze, wenn er nicht völlig $15\frac{1}{2}$ Grad vom Knoten entfernt ist. Die Grenzen der Sonnenfinsternisse sind als sehr viel ausgedehnter als die der Mondfinsternisse, und da der Ort der Sonne zwischen zwei Neumonden sich nur um 29 Grade ändert, so tritt bei jedem Zusammentreffen der Sonne mit dem Knoten der Mondbahn wenigstens *eine* Sonnenfinsterniſs ein; es kann aber auch eine vor und eine nach dem Eintreffen in dem Knoten sich ereignen, wenn

die Sonne ziemlich mitten zwischen zwei Neumonden den Knoten erreicht. Wenn der Neumond sehr nahe mit dem Eintreten der Sonne in den Knoten der Mondbahn zusammen trifft, so ist die Finsternifs auf der Erde irgendwo central; aber dann ist sehr oft beim vorhergehenden und folgenden Vollmonde die Entfernung vom Knoten schon zu grofs, um eine Mondfinsternifs zu gestatten. Ist dagegen der Vollmond nahe beim Knoten, so ist eine totale Mondfinsternifs, und bei dem vorhergehenden so wie bei dem folgenden Neumonde treten kleine Sonnenfinsternisse ein. Hiernach läfst sich die Verschiedenheit der Anzahl und Gröfse der Sonnen- und Mondfinsternisse in verschiedenen Jahren ungefähr beurtheilen.

Auch die Perioden der Wiederkehr ähnlicher Finsternisse lassen sich nun übersehen. Wenn in einem bestimmten Jahre eine Sonnenfinsternifs genau oder doch nahe mit dem Knoten zusammen getroffen ist, so trifft im nächsten Jahre der in demselben Monate sich ereignende Neumond 11 Tage früher, also bei einem Stande von der Sonne, der etwa 11° hinter dem vorigen zurückliegt; der Knoten der Mondbahn ist aber 19 Grade zurückgegangen, und der Mond ist also bei dem Neumonde eben des Monates etwa 8 Grade vom Knoten entfernt, daher der vorigen grofsen Sonnenfinsternifs nun nur eine kleinere folgt. Im folgenden Jahre ist der Abstand 16 Grade, und es erfolgt allenfalls bei dem so bestimmten Neumonde noch eine kleine, aber gewifs keine erheblich grofse Sonnenfinsternifs. Wendet man eben die Betrachtung auf Mondfinsternisse an, so würde im zweiten Jahr nach einer sehr grofsen Mondfinsternifs in eben der Jahreszeit der Mond gar nicht verfinstert. Zum Beispiel am 21. Mai 1826 war eine totale Mondfinsternifs, (bei welcher jedoch der Mond nicht so ungemein nahe bei dem Knoten war) am 11. Mai 1827 eine partiale Mondfinsternifs; aber im April oder Mai 1828 wird keine Mondfinsternifs seyn; dagegen sind 1828 zwei Sonnenfinsternisse in den mittleren Gegenden der Erde central, statt dafs im Jahre 1827 die Sonnenfinsternisse um einen der Pole der Erde central erschienen, und 1826 die grofsen Mondfinsternisse nur kleine Sonnenfinsternisse neben sich hatten.

Der Knoten der Mondbahn rückt so rückwärts, dafs, wenn er einmal mit dem Neumonde zusammen traf, er nach 18 Jahren und 10 bis 11 Tagen wieder mit ihm zusammen trifft. Der Kno-

ten bewegt sich in 365 Tagen durch 19° 19',75; also in 18 gemeinen Jahren durch 347° 47'; unter 18 gemeinen Jahren sind aber 4 oder 5 Schaltjahre, und 18 wirkliche Jahre bestehen daher aus 4 oder 5 Tagen mehr als den eben berechneten. Lege ich außer diesen im ersten Falle noch 11 Tage zu den ohne Schalttag berechneten Jahren, so ist für diese 15 Tage der Rückgang der Knoten noch 48 Min., also in 18 Jahren 11 Tagen 348° 35'. Der Knoten ist also noch 11 Grade von dem Orte, den er zu Anfang jener Zeit einnahm, und da die Sonne um so viel, als 11 Tagen zukommt, weiter vorgerückt ist, als zu Anfang jener Zeit, das ist 11 Grade weiter, so steht sie nach 18 Jahren 11 Tagen wieder im Knoten. Aber auch der Mond ist wieder im Neumonde, indem 223 Mondmonate 6585⅓ Tage, das ist 18 gemeine Jahre und 15⅓ Tage oder 18 richtige Jahre und 10⅓ oder 11⅓ Tage ausmachen; es ist also wieder eine Sonnenfinsternifs wie vor 18 Jahren 11 Tagen und zwar fast eben so nahe beim Knoten, also ziemlich eben so grofs. Da indefs das Zusammentreffen des Neumondes mit dem Knoten nicht ganz genau ist, so findet eine kleine Aenderung der Finsternisse statt, nach 36 Jahren 21 Tagen würde diese noch mehr betragen und nach oftmaligem Verlauf der Periode die Uebereinstimmung nicht mehr statt finden. Auf diese Art stimmte die in den nördlichen Gegenden ringförmige Sonnenfinsternifs am 28. Aug. 1802 mit der gleichfalls in der nördlichen Halbkugel ringförmigen Sonnenfinsternifs am 7. Sept. 1820 überein. Diese Periode von 223 Mondmonaten ist zwar in neuern Zeiten die *Halley'sche Periode* genannt worden, sie ist aber dieselbe, welche nach PTOLEMAEUS schon den alten chaldäischen Mathematikern bekannt war, und die sie *Saros* genannt haben [1]. Aehnliche Perioden der Wiederkehr der Finsternisse sind die von 716, 3087, 6890, 9977 Mondmonaten.

Alles bisher Angeführte betrifft nur die Bestimmung, ob und wie auf der Erde überhaupt eine Sonnenfinsternifs erscheinen wird: aber man verlangt nun auch zu wissen, an welchen Orten sie central, total oder ringförmig oder sonst von bestimmter Gröfse erscheinen, und wie sie sich an einem gegebenen Orte zeigen wird. Diese Bestimmungen müssen von etwas sorgfälti-

---

1 Ptol. Almagest Lib. 4. Plinius hist. nat. II. 10. und Ideler's Chronologie I. 209.

gern Berechnungen für den Mittelpunkt der Erde ausgehen. Man zeichne um den Mittelpunct C einen Kreis AEEB, dessen Halbmesser nach einem willkührlichen Maſsstabe so viele Theile, als $P-p+Q+q$ Secunden enthält (wo $P-p$ der Unterschied der Parallaxen von Sonne und Mond, Q der Mondhalbmesser, q der Sonnenhalbmesser ist); dabei müssen nun diese Gröſsen so genommen werden, wie sie der Zeit des Neumondes entsprechen, für welchen man die Rechnung führen will, und die Werthe kann man aus den Ephemeriden nehmen. Eben so zeichne man um denselben Mittelpunct Kreise von den Halbmessern $=P-p+Q+\frac{1}{2}q$; $=P-p+Q$; $=P-p+Q-\frac{1}{2}q$; endlich $=P-p$. Der erste und gröſseste dieser Kreise umschlieſst, wenn C den aus der Erde Mittelpuncte gesehenen Mittelpunct der Sonne bezeichnet, denjenigen Raum am Himmel, in welchen der Mittelpunct des Mondes eintreten muſs, um irgendwo auf der Erde eine theilweise Verfinsterung zu bewirken; der letzte und kleinste Kreis umschlieſst den Raum, in welchen der Mittelpunct des Mondes eintreten muſs, wenn irgendwo eine centrale Finsterniſs statt finden soll, und die drei dazwischen gezeichneten Kreise geben an, wie nahe der Mond geocentrisch gesehen der Sonne rücken muſs, damit irgendwo auf der Erde die Finsterniſs 3zöllig, 6zöllig, 9zöllig sey, oder der Rand des Mondes etwa um ein Viertel des Sonnendurchmessers eingetreten ist, oder den Mittelpunct der Sonne erreicht hat, oder endlich drei Viertel des Sonnendurchmessers verdeckt.

Fig. 48.

Es kommt jetzt darauf an zu finden, in welchen Zeitpuncte der Mond in diese Kreise eintritt. AJ bezeichne die Ekliptik, und da die Ephemeriden die geocentrische Breite des Mondes, nämlich seines Mittelpunctes, zur Zeit der wahren Conjunction, oder des genauen Neumondes, indem er gerade am Mittelpuncte der Sonne vorbeigeht, angeben, so trage man CH, gleich dieser Breite, nach dem vorhin gebrauchten Secunden-Maſsstabe auf. Man suche ferner nach der Angabe der Ephemeriden, wie viele Stunden vor oder nach dem Neumonde sich der Mond in der Ekliptik in J befindet, und bestimme den Punct J in der Zeichnung so, daſs CJ der Anzahl von Secunden gleich sey, um welche beim Eintritte des Mondes in die Ekliptik des Mondes Mittelpunct vom Mittelpuncte der Sonne entfernt ist. Dann ist EHEJ die relative Mondbahn, das ist, wenn man HK gleich dem Raume nimmt, um welchen, 1 Stunde vor der Conjunction,

der Mondmittelpunct noch von der Conjunction entfernt war, wenn man ebenso HL für den Zeitpunct 2 Stunden vor der Conjunction aufträgt und so ferner, so geben CK, CL die scheinbaren Abstände der Mittelpuncte beider Himmelskörper 1 Stunde, 2 Stunden vor dem Neumonde u. s. w. an; CH ist der Abstand beider Mittelpuncte im Augenblicke der Conjunction, und wenn man CM senkrecht auf JE zieht, so zeigt CM nach dem Secundenmafsstabe, wie weit bei der gröfsten Annäherung die Mittelpuncte noch von einander entfernt bleiben, und HM mit dem einer Stunde entsprechenden Raume HK verglichen, giebt die Zeit an, wie lange vor oder nach der Conjunction die gröfste Verfinsterung eintritt, oder die Mitte der Verfinsterung.

Hieraus kennt man nun die Zeitpuncte, wenn die Finsternifs auf der Erde anfängt, die Zeit, wo die centrale Verfinsterung auf der Erde anfängt, wann die 3zöllige, 6zöllige, 9zöllige Verfinsterung anfängt, und wenn man den Mond weiter nach F und E verfolgt, so ist der Zeitpunct, wo der Mittelpunct F erreicht, derjenige, wo die centrale Verfinsterung auf der Erde aufhört, der Zeitpunct, da er nach E gelangt, entspricht dem völligen Ende der Finsternifs. Man verlangt nun zunächst zu wissen, wo denn der Ort auf der Erde liegt, an welchem man zuerst den Mondrand in die Sonne eintreten oder den ersten Anfang der Verfinsterung sieht, und eben die Frage wird man für alle übrigen eben erwähnten Zeitpuncte und die mit ihm verbundenen Erscheinungen aufwerfen. Zur Beantwortung dieser Frage ist zuerst zu bemerken, dafs der Anfang der Finsternifs da gesehen wird, wo die Sonne dann gerade aufgeht. Es läfst sich nämlich aus der Figur wohl übersehen, dafs der von Westen, von A her vor der Sonne vorbei rückende Mond seinen Schatten zuerst in B auf die Erde fallen läfst, und dafs hier die Sonne im Horizonte steht; sie geht hier auf, weil durch die Rotation der Erde von Westen nach Osten, der Ort B gegen D hin geführt wird, und dieser also die Sonne immer höher über den Horizont hervorkommen sieht. Eben so sieht der Ort, welcher die Sonne total verfinstert aufgehen sieht, die totale Verfinsterung früher als jeder andre Ort, und es läfst sich leicht übersehen, dafs, wenn der Mond nach G gelangt ist, der Ort E, welchem die Sonne eben untergeht, der letzte ist auf den noch der Centralschatten fällt. Wie man diese Orte findet, läfst sich so übersehen. Wenn man für den Augenblick, in welchem auf der Erde die Verfin-

Fig. 49.

Fig. 48. sterung anfängt, die Stellung des Mondes gegen den Mittelpunct C der Sonne, vom Mittelpuncte der Erde aus gesehen, berechnet, so ergiebt sich daraus für den Ort, welchem die Sonne im Zenith steht, ob ihm der Mond nordwestlich oder westlich oder südwestlich vom Zenith erscheinen müfste, wenn es möglich wäre, ihn neben der Sonne zu sehen, oder man kann genau das Azimuth des Mondmittelpunctes für diesen Punct auf der Erde angeben. Offenbar liegt nach eben der Richtung hin von diesem Orte, und zwar 90 Grade von ihm entfernt, der Ort, dem der Mond nun die Sonne zu verfinstern anfängt, und man könnte daher auf einer künstlichen Erdkugel den Ort, wo gerade in jenem Augenblicke die Sonne im Zenith steht, in den höchsten Punct der Kugel bringen, auf dem Horizonte die Gegend, nach welcher zu diesem Orte der Mond vom Zenith entfernt erscheint, aufsuchen und sehen, welcher Ort der Erde gerade da im Horizonte steht; dieser nämlich ist es, welchem die Sonne bei anfangender Verfinsterung aufgeht. Will man eben so den Ort finden, der zuerst die centrale Verfinsterung sieht, so mufs man aufs Neue denjenigen Ort in die höchste Stellung bringen, welchem die Sonne im Zenith ist, wenn nach den obigen Bestimmungen die centrale Finsternifs anfängt; dieser Ort liegt, da die Sonne ihre Declination nicht erheblich ändert, in eben der geographischen Breite, wie der vorhin betrachtete, aber in anderer Länge, und indem man wieder das Azimuth des Mondmittelpunctes sucht, findet man abermals den Punct des Horizontes der Kugel, wo man den Ort aufsuchen mufs, welchem die Sonne central verfinstert aufgeht. Eine gleiche Bestimmung findet für das Ende der centralen Verfinsterung auf der Erde, für das völlige Ende der Finsternifs und so ferner statt; und selbst noch mehrere, minder merkwürdige Bestimmungen liefsen sich so herleiten.

Um noch vollständigere Bestimmungen zu erhalten, will ich allgemein die Frage zu beantworten suchen, wie weit von dem Puncte, welchem die Sonne im Zenith steht, der Mittelpunct des Central-Schattens entfernt ist, wenn der Abstand der Mittelpuncte beider Himmelskörper ein bestimmter ist. Für jeden gegebenen Augenblick kennt man aus dem Vorigen den geocentrischen Abstand SCM des Mondes von der Sonne, und daher auch den scheinbaren Abstand SAM an dem Orte, wo die Sonne im Zenith steht, der nur um die Höhenparallaxe AMC

Fig. 50.

gröfser als jener ist. B ist der Ort, wo das Centrum des Schattens hinfällt, wenn BM verlängert den Mittelpunct der Sonne trifft, M aber des Mondes Mittelpunct ist. S soll den Durchschnittspunct der Linien CS, BM anzeigen, und dann ist $\text{Sin. CMB} = \frac{\text{CB. Sin. MBC}}{\text{MC}} = \frac{\text{CS. Sin. SCM}}{\text{SM}}$ oder da $\frac{\text{CB}}{\text{MC}} = \text{P} =$ der Horizontalparallaxe des Mondes ist, $\text{Sin. MBC} = \frac{\text{CS. Sin. SCM}}{\text{P. SM}}$; damit ist dann zugleich CMB, also auch der verlangte Winkel $\text{ACB} = \text{ACM} + \text{MCB}$ bekannt. Diese Rechnung zeigt, daſs man den Abstand des Centralschattens von dem Puncte, wo die Sonne im Zenith steht, und auch die Gegend, wohin man von eben diesem Puncte ausgehen müſste, um zu jenem Mittelpuncte des Schattens zu gelangen, in jedem Augenblicke kennt, also den Gang des Schatten-Mittelpunctes auf der Erde vollkommen bestimmen kann.

Ganz ebenso kann man zu irgend einer Zeit den Punct bestimmen, der in der Ebne SMA liegend, den Mittelpunct des Mondes um $\frac{1}{12}$ des Sonnendurchmessers vom Mittelpuncte der Sonne entfernt sieht. Es stelle nämlich sMb die gerade Linie vor, welche die Sonne in einer Entfernung $= \frac{1}{12}$ des Sonnendurchmessers von ihrer Mitte trifft, so kann ACb ganz wie vorhin ACB gefunden werden, und man kennt also die Entfernung der beiden Orte, B, b, wo gleichzeitig die eben erwähnte Ungleichheit der Erscheinungen statt findet. Hätte man bMs durch des Mondes Mittelpunct nach dem Rande der Sonne gezogen, so würde man den Ort b bestimmen, welchem zu eben der Zeit des Mondes Mittelpunct im Sonnenrande erscheint; und endlich wenn man bMs nach einem Puncte zöge, der um den scheinbaren Mondhalbmesser vom Rande der Sonne entfernt läge, so hätte man einen Punct b auf der Erde, dem der Mondrand nur den Sonnenrand zu berühren schiene, in eben dem Augenblicke, da in B die Finsterniſs central ist.

So lieſse sich nicht allein der Gang des Schattenmittelpunctes, sondern des ganzen vollkommenen Schattens und Halbschattens auf der Erde bestimmen, und die Reihe aller der Oerter angeben, wo die Finsterniſs eine bestimmte Gröſse erreicht. Zwar, wenn es auf genaue Bestimmung ankommt, lieſse sich noch Einiges gegen diese Regeln erinnern; aber der Zweck ist hier nur

die Möglichkeit jener Bestimmungen ohne erhebliche Rechnung zu zeigen.

Zur strengern Berechnung Anleitung zu geben, scheint hier nicht der Ort zu seyn, da diese Anleitung allemal weitläuftig ausfallen wird. Die Berechnung kommt kurz darauf hinaus, daſs man für einen gegebenen Punct auf der Erde den geocentrischen Ort so corrigirt, wie es die Parallaxe fordert. Der Mond hat nur eine Parallaxe in der Breite, wenn er sich gerade da befindet, wo die Ekliptik in dem Augenblicke am höchsten über dem Horizonte des Ortes ist, in allen andern Fällen auch eine Parallaxe in der Länge, und da jener höchste Punct der *Nonagesimus* heiſst, so hängt also die Berechnung der Parallaxe von der Stellung des Mondes gegen den Nonagesimus ab[1]. Hat man für verschiedene Zeitpuncte die Parallaxe gefunden, so giebt sie an, wie weit entfernt von dem Puncte, wo des Mondes Mittelpunct geocentrisch erscheint, man ihn an jenem Orte sieht, und man bekommt so auf gleiche Weise, wie vorhin für das Centrum der Erde, den relativen Weg des Mondes vor der Sonne vorbei, für jenen bestimmten Ort, für welchen die Rechnung geführt wird. Daſs dabei auf die Ungleichheit des in verschiedenen Höhen nicht gleich groſs erscheinenden Monddurchmessers u. s. w. Rücksicht zu nehmen sey, versteht sich von selbst[2].

Wenn eine Sonnenfinsterniſs genau beobachtet worden ist, so dient sie zur Bestimmung des Längen-Unterschiedes zweier Orte, indem ja so gut, wie man für einen gegebenen Ort die Zeiten des Eintritts, Austritts u. s. w. berechnen kann, auch umgekehrt aus der Beobachtung des Eintritts, Austritts u. s. w. die Lage des Ortes, wenigstens seiner Länge, wenn die Breite bekannt ist, hergeleitet werden kann.

Die Sonnenfinsternisse älterer Zeiten zu berechnen, kann oft für die Chronologie wichtig seyn; denn da groſse, besonders totale, Sonnenfinsternisse in einer bestimmten Gegend nur selten vorkommen, so kann eine Begebenheit, für welche die Zeit selbst um mehrere Jahre ungewiſs wäre, bis auf den Tag genau bestimmt werden, wenn sie mit einer solchen Erscheinung zu-

---

1 Vergl. die Art. *Nonagesimus* und *Parallaxe*.

2 Alle Lehrbücher der Astronomie geben diese Rechnungsmethoden an, z. B. Schubert astronomie théorique. Livre V. u. populärer, Schubert's popul. Astron. II. 359. Piazzi Lehrb. d. Astron. II. 279.

sammen traf. Aus diesem Grunde enthält das berühmte Buch, *l'art de verifier les dates*[1], ein Verzeichniſs der Finsternisse vom Jahre 1 bis 2000. Einzelne Untersuchungen der Art gehören nicht hierher, doch mag die Sonnenfinsterniſs, die während der Schlacht am Halys eintrat, hier erwähnt werden, da sie zugleich in der Geschichte der Astronomie berühmt ist, als die erste, welche von Thales vorausgesagt seyn soll. Diese Finsterniſs kann keine andere als die am 30. Sept. im Jahre 610 vor unserer Zeitrechnung seyn; diese war in der Gegend des Kampfplatzes beinahe total[2].

Die Erscheinungen, welche die sehr groſsen Sonnenfinsternisse darbieten, verdienen noch etwas näher erwähnt zu werden. So lange noch ein kleiner Rand der Sonne unbedeckt vom Monde übrig bleibt, ist die Helligkeit noch immer sehr groſs; eine etwas auffallende Verminderung der Helligkeit tritt ein, wenn die Breite des hellen Theiles der Sonne nicht mehr $\frac{1}{24}$ des Sonnendurchmessers beträgt; aber auch dann und fast zum Verschwinden des letzten Randes der Sonne ist doch die Erleuchtung der Erde und Atmosphäre noch immer sehr bedeutend. Daher hat dann, wie die Beobachter versichern, welche totale Sonnenfinsternisse bei heiterm Himmel gesehen haben, die plötzliche Finsterniſs in dem Augenblicke, wo der letzte Lichtrand verdeckt wird, etwas sehr Auffallendes. Bei der Sonnenfinsterniſs am 19. Nov. 1816, die in Breslau $11\frac{1}{13}$zöllig war, oder nur einen Rand, welcher an der breitesten Stelle $\frac{1}{90}$ des Sonnendurchmessers betrug, unverfinstert übrig lieſs, war die dämmerige Dunkelheit bei dick bewölktem Himmel zwar sehr merklich, aber doch nicht so groſs als man zu erwarten geneigt seyn möchte. Selbst in Bütow in Pommern, wohin Tönnies sich begeben hatte, um die dort totale Verfinsterung zu beobachten, war bei der totalen Verfinsterung, deren Beobachtung die Wolken hinderten, die Dunkelheit nur einer starken Dämmerung ähnlich[3].

---

1 Nouv. edit. p. St. Allais Vol. I. p. 269. Nachrichten von totalen Finsternissen giebt v. Zach Corr. astr. II. 560. Ein Verzeichniſs der in Paris sichtb. Finst. im 19. Jahrhundert Astr. Jahrb. 1803. S. 227.

2 Die Gründe, warum andere Meinungen über Tag und Jahr dieser Finsternisse unzulässig sind, giebt Oltmanns an, Schr. d. Berlin. Akad. 1812. 1813. u. Astr. Jahrbuch 1823. S. 197.

3 Astron. Zeitschrift von v. Lindenau III. 125.

Ueberhaupt scheint die Dunkelheit bei totalen Sonnenfinsternissen sehr ungleich zu seyn. LOUVILLE beschreibt sie bei der Finsterniſs am 3. Mai 1715 in London auch nicht wie völlige Nacht, sondern legt ihr etwas Eigenthümliches, auch von der Dämmerung Verschiedenes, bei. Eben das Eigenthümliche bemerkten SANTINI, BÜRG und BÖCKMANN bei der ringförmigen Finsterniſs am 7. Sept. 1820, die sie an verschiedenen Orten beobachteten. SANTINI sagt, ein mattes, trauriges Licht habe sich über alle Gegenstände verbreitet, und eine Empfindung hervorgebracht, derjenigen ähnlich, die man hat, wenn man zum ersten Male durch grüne Brillen sieht. BÖCKMANN sah den Himmel graulich violett [1].

In andern Fällen ist eine tiefere Dunkelheit eingetreten, namentlich hat DAVIZARD, der am 12. Mai 1706 in Arles die dort 5 Minuten dauernde totale Verfinsterung beobachtete, die Dunkelheit so angegeben, daſs einer den andern nur mit Mühe erkannte; die Nachtvögel kamen hervor, und die übrigen Vögel zogen sich zurück, obgleich es erst halb zehn Uhr Vormittags war. Aehnliche Nachrichten hat man auch von andern Beobachtern totaler Finsternisse [2]. Indeſs erhellet, dünkt mich, leicht, daſs die Finsterniſs in den meisten Fällen nur der Dämmerung gleich kommen kann; denn selten hat der Schatten auf der Erde mehr als 4 oder 6 Meilen Durchmesser, und selbst der im Centro des Schattens stehende Beobachter erhält in diesem Falle von den gegen seinen Horizont hinstehenden Wolken noch zurückgeworfenes, wenn gleich durch den Halbschatten sehr geschwächtes Licht. Bei sehr langer Dauer der totalen Finsterniſs ist freilich der völlig beschattete Raum der Erde und der Atmosphäre gröſser, und die Finsterniſs also tiefer. Daſs man die Finsterniſs recht eigentlich herannahen sieht, nämlich die westwärts liegenden Gegenstände schon im Dunkeln sieht, während man selbst noch im Sonnenlichte ist, bemerkt LORENZ bei der Finsterniſs im November 1816. Er erzählt auch, daſs für ihn, der sich ziemlich am Rande der totalen Verfinsterung befand, alle in bedeutender Entfernung südwärts liegenden Gegenstände sich erhellet zeigten, während ihm die Sonne total verfinstert war [3].

---

1 G. LXVI. 216.

2 de Zach corr. astron. III. 289. 532.

3 Astron. Jahrb. 1824. S. 181.

Sterne hat man mehrmals selbst bei nicht totalen Finsternissen gesehen.

Daſs man auf dem vor die Sonne tretenden Monde die Berge, die über den Rand des Mondes hervorragen, erkennt [1], läſst sich leicht erachten. Die Beobachtung Ulloa's, der im Monde, etwas entfernt vom Rande, einen hellglänzenden Punct sah, als ob hier das Sonnenlicht hervorbräche [2], ist sonst nie wieder vorgekommen; doch bemerkte Rüppell 1820, daſs das eine Horn des noch übrigen Theils der Sonne durch einen vorragenden Mondberg abgestumpft war, und daſs daneben eine ganz feine helle Oeffnung, ein Durchdringen des Lichtes durch das neben dem Berge liegende Thal sichtbar war [3].

Den hellen Ring, den man bei totalen Finsternissen um den Mond gesehen hat, habe ich in dem Artikel: *Atmosphäre des Mondes* erwähnt. Die dort mitgetheilte Erklärung dieser Erscheinung von Bode, daſs dieser Ring in der erleuchteten Erd-Atmosphäre entstehe, hat doch das gegen sich, daſs bei totalen Finsternissen von einiger Dauer die Erde und die Atmosphäre um den Beobachter auf einige Meilen weit mit Schatten bedeckt ist, also das nach der Sonne hinsehende Auge nur auf beschattete Theile unserer Atmosphäre trifft. Dieser Ring muſs also anders erklärt werden, und da, wie Bianchi und Amici mit Recht aus ihren Beobachtungen zu schlieſsen scheinen, Inflexion des Lichts und Brechung in der Mondatmosphäre nicht merklich statt zu finden scheint [4], so ist die Erscheinung wohl noch nicht erklärt; was indeſs die Wirkung der Inflexion betrifft, so könnte diese, als doch nur matteres Licht in den beschatteten Raum bringend, vielleicht wenig merklich seyn, so lange noch etwas ungeschwächtes Sonnenlicht unser Auge trifft, und dennoch bei totaler Verfinsterung merklich werden.

Auch die Erwärmung durch die Sonne nimmt während groſser Sonnenfinsternisse bedeutend ab. Böckmann beobachtete diese Abnahme an Thermometern mit ungeschwärzter und mit geschwärzter Kugel und an Leslie'schen Photometern. Beim Anfange der Finsterniſs stand das Thermometer mit ungeschwärz-

---

1 Astron. Jahrb. 1797. 152. de Zach Corr. astron. IV. 181.

2 Journ. de Phys. 1780. Avril.

3 de Zach Corr. astron. IV. 185.

4 Corr. astron. IV. 280.

ter Kugel etwa auf 26°, bei der ringförmigen Verfinsterung auf 17°, am Ende der Finsternifs auf 23°; das Thermometer mit geschwärzter Kugel stand vor der Finsternifs 7 bis 8 Grade, nach der Finsternifs ungefähr 7 Grade höher als jenes, bei der ringförmigen Verfinsterung betrug dagegen der Unterschied kaum einen Grad. Noch auffallender als diese Verschiedenheit war die Aenderung in den Anzeigen des Leslie'schen Photometers, aber es scheint mir[1] an hinreichenden vergleichenden Beobachtungen zu fehlen, um den Gang dieses Instruments richtig zu beurtheilen; indefs giebt Böckmann an, dafs das eine bei gewöhnlichem Tageslichte 62,2 Grad, vor Anfang der Finsternifs 130 Gr., zur Zeit der ringförmigen Finsternifs 73 Gr., nach der Finsternifs 120 Gr. zeigte[2]. Flaugergues schliefst aus ähnlichen Beobachtungen, dafs der Unterschied zwischen der Temperatur in der Sonne und im Schatten der Gröfse des unbedeckten Theils der Sonne proportional war. Die Gröfse der Sonnenscheibe betrug nämlich 2865213 Quadrat-Secunden, des unbedeckten Theils bei der gröfsten Verfinsterung in Viviers = 578279 Quadrat-Secunden, und diese Zahlen verhalten sich, wie 4,94 zu 1. Der Unterschied der Thermometerstände in der Sonne und im Schatten war 4,3 Grad bei unverfinsterter Sonne, und 0,95 Grad bei der gröfsten Verfinsterung; diese Zahlen verhalten sich, wie 4,52 zu 1, was allerdings nicht weit von jenem Verhältnisse abweicht.[3]

Verfinsterungen der Nebenplaneten und Sonnenfinsternisse auf andere Planeten.

Jupiter, Saturn und Uranus haben Monde oder Nebenplaneten, welche sie ebenso, wie der Mond die Erde, begleiten; da wir aber nur die Monde des Jupiters mit Leichtigkeit beobachten können, so will ich auch nur von diesen hier reden. Die *Monde des Jupiter* haben sämmtlich Bahnen, die wenig gegen die Bahn des Jupiter geneigt sind, und da sie auf diese Weise sich nie weit von dem Kreise, den die Bewohner jenes Planeten als Bahn der Sonne am Himmel ansehen, entfernen, der Schatten des Jupiter aber grofs ist, so werden sie sehr oft

---

1 Und eben das hat Ecke schon bemerkt. G. LXX. 321.

2 Die vollständigen Beob. in G. LXVI. 215. Aehnliche Beob. in Bologna stehen in d. Correspond. astron. IV. 183.

3 Journ. de Phys. 1821. Juin.

von ihrem Hauptplaneten beschattet. Die Monde des Jupiter sind überdies ihren Hauptplaneten viel näher nach Verhältniſs seiner Gröſse, als unser Mond der Erde ist; denn selbst der entfernteste ist nicht völlig 26 Jupiters-Halbmesser von ihm entfernt, statt daſs der Mond 60 Erd-Halbmesser von der Erde absteht. Hieraus ist es leicht zu übersehen, daſs die Verfinsterungen sehr oft, bei den kurzen Umlaufszeiten der nächsten Monde, fast täglich eintreten müssen; indem die drei nächsten bei jedem Umlaufe und auch der vierte oft, verfinstert werden. Man beobachtet diese Verfinsterungen am besten, wenn der Jupiter der Quadratur nahe ist; denn bei seiner Opposition mit der Sonne liegt der Schatten uns gerade hinter dem Jupiter und die Eintritte und Austritte der Monde in den Schatten und aus dem Schatten könnten höchstens ganz nahe am Rande des Jupiter wahrgenommen werden, statt daſs wir, wenn der Planet 90 Grade von der Sonne entfernt ist, eine Stellung haben, wo wir den in den Schatten eintretenden oder aus demselben austretenden Mond ziemlich entfernt vom Hauptplaneten sehen. Um die Zeit der Quadratur kann man Anfang und Ende der Finsterniſs des dritten und vierten Mondes beobachten; bei den Finsternissen des zweiten ist dieses nur sehr selten möglich, und bei diesem fast immer, bei dem ersten Monde durchaus immer muſs man sich begnügen, vor der Opposition den Anfang, nach der Opposition das Ende der Finsterniſs zu beobachten. Die Verfinsterungen können bei dem ersten 2¼ Stunde, beim zweiten 2 St. 50′; beim dritten 3 St. 34′, beim vierten 4 St. 46′ dauern und treten beim ersten allemal nach 42½ Stunden, beim zweiten nach 3 Tagen 13 Stunden, beim dritten nach 7 Tagen 4 Stunden wieder ein.

Die Berechnung dieser Verfinsterungen beruht auf einer genauen Kenntniſs der Umlaufszeiten und Entfernungen dieser Monde von ihrem Hauptplaneten. Lägen nicht die Bahnen der Monde dem Aequator des Jupiter so nahe, so würde die sehr von der Kugel abweichende Gestalt des Jupiter die Berechnung bedeutend erschweren; denn wenn eine leuchtende Kugel ein undurchsichtiges Sphäroid bescheint, so ist der Schatten nicht mehr ein Kegel, sondern eine andere abwickelbare Fläche, für die man eine Gleichung findet, wenn man die allgemeine Gleichung für eine, beide Flächen berührende, Ebene aufsucht. Diese merkwürdige Fläche hat Laplace nur so weit als die Theorie

dieser Finsternisse es fordert, untersucht, sie verdient aber wohl eine nähere Betrachtung [1].

Daſs die Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitersmonde dazu gedient haben, die Geschwindigkeit des Lichts zu bestimmen, wird im Art. *Licht* erklärt. Aber auch zur Längenbestimmung dienen sie, da ihr Unsichtbarwerden unter ganz gleichen Umständen an mehreren Orten beobachtet, den Beobachtern gleiche Zeitmomente und damit den Mittagsunterschied der Orte angiebt. Die Schwierigkeit dabei ist nur, daſs wegen ungleicher Reinheit der Luft und ungleicher Stärke der Fernröhre Verschiedenheiten in die Bestimmung kommen können, die sich nicht mit Sicherheit angeben lassen. Das Verschwinden des Jupitermondes ist nämlich kein momentanes Phänomen, sondern er wird, so gut als unser Mond nach und nach verdunkelt, und daher dem Beobachter eher unsichtbar, welchen dunstige Luft oder ein minder starkes Fernrohr hindern, den schwachen Ueberrest der Erleuchtung zu sehen, die ein anderer Beobachter unter günstigen Umständen noch bemerkt.

Endlich gehört zu diesen Betrachtungen über Finsternisse auch noch die Bemerkung, daſs auch die Bewohner anderer Hauptplaneten Sonnenfinsternisse sehen, und daſs wir die Verfinsterung, die alsdann der Planet erleidet, am Jupiter oft wahrnehmen können. Man sieht nämlich, wenn einer der Jupitersmonde zwischen ihm und der Sonne vorbei geht, mit Fernröhren auf dem Jupiter einen Schatten, der gerade eben das ist, was bei uns der Mondschatten zur Zeit einer Sonnenfinsterniſs; dieser Schatten nimmt aber auf dem Jupiter immer nur einen sehr unbedeutenden Raum ein, da die Monde gegen den Planeten sehr klein sind.

Auf dem *Saturn* verfinstert der breite Ring manchen Gegenden auf lange Zeiten die Sonne, wovon in dem Art. *Saturnsring* mehr gesagt werden wird. *B.*

Firmament.

Firmamentum; le firmament; *the firmament;* das Himmelsgewölbe zeigt sich uns so, als ob es eine feste Halbkugel

---

1 Mécanique céleste. Tome IV. p. 105. Brandes höhere Geometrie. II. 340.

wäre, und von diesem Anscheine ist offenbar der Ausdruck, daſs man sie das Firmament genannt hat, hergenommen. Unter dem Art. *Himmel* wird die genauere Untersuchung, welche Form wir in unserer Vorstellung diesem Gewölbe beilegen, vorkommen. *B.*

Fische, elektrische.

Zitterfische, Krampffische; *Pisces electrici;* Poissons électriques, Trembleurs; *Electric Fishes.*

Man belegt mit diesem Namen alle diejenigen Fische, welche das Vermögen besitzen, Menschen und Thieren, wenn sie unmittelbar oder mittelbar mit ihnen in Verbindung kommen, eigenthümliche, den elektrischen Erschütterungen ähnliche, Schläge zu ertheilen, und einen Krampf und Erstarrung in ihren Muskeln dadurch zu verursachen. Diese elektrischen Fische finden sich in den verschiedensten Abtheilungen und Geschlechtern ihrer Classe, aus denen sie einzeln mit jener sonderbaren Eigenschaft hervortreten. Nur das haben sie alle mit einander gemein, daſs sie ohne Schuppen mit einer schleimigen Haut bedeckt sind. Gewöhnlich zählt man folgende fünf Arten auf: den Zitterrochen *(Raja Torpedo)*; den Zitteraal *(Gymnotus el.)*; den Zitterwels *(Silurus el.)*; den elektrischen Spitzschwanz *(Trichiurus el.)*; und den elektrischen Stachelbauch *(Tetrodon el.)*. Nach Risso soll aber das mittelländische Meer vier verschiedene Arten von Zitterrochen beherbergen, die derselbe daher unter einem neuen Geschlechte, *Torpedo*, vereinigt hat. *Torpedo Galvanii*, der am meisten bekannte Rochen, *T. Narke*, *T. unimaculata* und *T. marmorata* [1]. Auch ist wahrscheinlich der Krampfrochen vom Vorgebirge der guten Hoffnung, an welchem Todd seine Versuche anstellte, eine besondere Art. Die Erscheinungen, welche diese Fische zeigen, und welche insbesondere an zweien Arten derselben, dem Zitterrochen und Zitteraal von mehreren berühmten Physikern und Naturforschern genau studirt worden sind, haben ein so hohes Interesse auch für die eigentliche Physik, daſs

1 S. v. Humboldt in Ann. de Chimie et Phys. XI. 409.

eine genauere, aus den Quellen selbst bearbeitete Zusammenstellung aller wichtigen Beobachtungen und eine kritische Prüfung der verschiedenen zur Erklärung so merkwürdiger Erscheinungen aufgestellten Hypothesen in diesem Werke eine Stelle verdient.

I. Geschichte und Literatur.

Die *Raja Torpedo* (*Torpedo Galvanii*) der Krampf- oder Zitterrochen (le Tremble, la Tropille; *the Torpedo*) war schon den Alten bekannt, und eine so außerordentliche Eigenschaft bei einem Thiere, welches sich an den verschiedenen Küsten des mittelländischen Meeres (aber auch an der westlichen Küste Frankreichs, und der südlichen Englands) findet, konnte ihnen nicht verborgen bleiben. In Plato's Gespräch Meno wird dieses Thier mit seiner betäubenden Eigenschaft erwähnt, Aristoteles nennt ihn oftmals [1], Plinius [2] nur kurz und hält die Erschütterungen desselben für ein wahrscheinliches Heilmittel, als welches sie auch, namentlich gegen halbseitiges Kopfweh und Gicht nach Scribonius Largus, Dioskorides und Galenus in Anwendung gebracht wurden. Auch von Plutarch [3] wird das Thier genannt.

Die ersten anatomischen Untersuchungen über die elektrischen Organe des Zitterrochens verdanken wir den Italienern Redi [4] und Lorenzini [5], welche die Röhren oder Säulen derselben für eben so viele Muskeln von besonderer Art (*Musculi falcati*) hielten. Réaumur [6] that einen großen Schritt weiter, indem er in einer ausführlichen Abhandlung nicht bloß eine Reihe von Versuchen bekannt machte, sondern auch eine sinnreiche mechanische Erklärung der von diesem Fische ertheilten Schläge aufstellte, gegründet auf den Bau der elektrischen Organe, deren Structur er sehr genau beschrieb. Die eigentliche

---

1 Hist. de Animal. II. 13. IX. 37. de part. animal. IV. 13.

2 Lib. XXXII. Nat. Hist. 1.

3 De industria Animalium p. 246.

4 Fr. Redi Exper. Natur. Flor. 1666.

5 Observazioni interno alle Torpedini da Stef. Lorenzini Flor. 1678.

6 Mémoires de l'acad. de Paris année 1714. Hist. p. 24. Mém. p. 447. Edit. d'Amsterd. 8.

Epoche einer richtigen Einsicht in das Wesen dieser Erscheinungen beginnt aber erst mit den schönen Versuchen von John Walsh im Jahre 1672[1], wodurch zuerst die Uebereinstimmung der von dem Zitterrochen abhängigen Erscheinungen mit den elektrischen in ein helles Licht gesetzt wurden, eine Entdeckung, die bei dem damals so regen Interesse für alles, was sich auf Elektricität bezog, die allgemeinste Aufmerksamkeit der Physiker erregte. Der berühmte Anatom John Hunter[2] lieferte zugleich eine neue durch eine meisterhafte Abbildung verdeutlichte Beschreibung der elektrischen Organe, und Cavendish[3] verbreitete zwei Jahre später durch Nachahmung der am Zitterrochen angestellten Versuche mit der gewöhnlichen Elektricität vermittelst eines künstlichen Zitterrochens ein neues Licht über diesen Gegenstand. Fernere interessante Versuche an dem Zitterrochen selbst verdankte man bald nachher Ingenhousz[4] und später Spallanzani[5]. Die Entdeckung der Galvani'schen Erscheinung leitete später von neuem die Aufmerksamkeit der Physiker auf diese analogen Phänomene, und veranlaſsten namentlich den glücklichen Entdecker derselben Aloys Galvani, so wie seinen Neffen Aldini[6] zu Versuchen mit diesem Fische; noch interessanter wurden aber alle elektrischen Fische durch die Entdeckung der Volta'schen Säule, in welcher man das eigentliche Erklärungsprincip der im Ganzen doch immer noch in ihrer Entstehungsweise räthselhaft gebliebenen Erscheinungen zu finden glaubte. v. Humboldt und Gay-Lüssac[7] stellten

---

1 Of the electric Property of the Torpedo. In a Letter from John Walsh. Philos. Transact. Vol. 63. Year 1774. p. 461. vgl. auch Roz. Observat. etc. 1774. IV. p. 205 ff.

2 Anatomical Observations of the Torpedo by John Hunter c. l. p. 481.

3 An account of some attempts to imitate the effects of the Torpedo by Cavendish. Phil. Trans. Vol. 66. for 1776. p. 196.

4 Extract of a Letter etc. Phil. Trans. LXV. Year 1775. p. 1.

5 Opuscoli scelti di Milano 1783. ein Auszug im Goth. Magazin f. d. N. II. Bd. 3tes St. S. 89. und Memorie di Matematica et Fisica della società italiana Tome II. p. 603. deutsch in den Leipz. Samml. zur Physik und Naturgeschichte. IV. Bd. 3tes St. 328 und im Ausz. im Goth. Magaz. V. Bd. 3tes St. S. 41.

6 Aldini Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme. Paris. 1804. Vol. II. p. 61. auch in G. XIV. 331.

7 Annales de Chimie. LVI. 15—23, daraus in Gehlen's N. J. d. Ch. VI. 166. und G. XXII. 51.

zuerst aus diesem Gesichtspuncte neue Versuche mit dem Zitterrochen an (1803). Volta[1] selbst entwarf in einem sehr ausführlichen Aufsatze mit grofsem Scharfsinne einen Plan zu einer neuen Reihe von Versuchen, um die Uebereinstimmung jener Erscheinungen mit denen seiner Säule aufser allen Zweifel zu setzen, nach welchem auch Configliachi[2] solche Versuche wirklich anstellte; dem englischen Wundarzte Todd endlich[3] verdankt man die neuesten Versuche über diesen Gegenstand.

2. Der Zitteraal Drillfisch (*Gymnotus electricus*, s. *tremulus*, anguille tremblante, *electrical eel.*) wurde zuerst durch den französischen Astronomen Richer bekannt, der, als er im Jahre 1672 in Cayenne seine berühmten Pendelversuche anstellte, die merkwürdige Eigenschaft des Fisches bei der unmittelbaren Berührung mit dem Arm oder mit einem Stabe den Arm erstarren zu machen und selbst Schwindel zu erregen, an sich selbst erfuhr, und eine Nachricht darüber seinem Tagebuche einverleibte[4]. Einige Jahre später 1680 theilte auch Berkel, der diesen Fisch in den Flüssen der holländischen Niederlassungen in America fand, eine Nachricht davon mit[5].

Im Jahre 1757 wandte sich der berühmte Naturforscher Allamand zu Leiden, der von dem Zitteraale von Surinam und seiner Erschütterungskraft gehört hatte, an seinen Freund s' Gravesande, Gouverneur von Essequebo, wegen genauerer Nachrichten von demselben, und dieser bestätigte in seinem Schreiben[6] vollkommen die damals schon bekannten Nachrichten, sprach die Uebereinstimmung der Wirkungen mit denen der Elektricität aus, und verglich die Erschütterungen mit denen der Leidner Flasche, die sogar von jenem an Stärke über-

---

1 In den Annali di Chimica e storia naturale di Brugnatelli. Tomo XXII, daraus übersetzt mit interessanten Anmerkungen von W. Ritter in Gehl. J. d. Ch. u. Ph. IV. 612.

2 Ebend. übers. in Gehl. J. a. a. O. S. 647.

3 Philos. Trans. 1816. I. 120. und daraus in Schweig. J. XIX. 10.

4 Mémoires de l'académie des Sciences pour 1677. par Dühamel auch Historia regiae Scientiarum academiae p. 168. vgl. Réaumur in den Mém. etc. de l'acad. 1714. p. 466.

5 S. dessen Reise nach Rio de Berbice in der Sammlung seltener und merkwürdiger Reise-Geschichten. Memmingen 1789. 8. S. 220.

6 Haarlemer Verhandelingen II. Deel. p. 372.

troffen würden. s'GRAVESANDE würde also gleichsam das Verdienst zukommen, zuerst das *rechte Wort* für diese Erscheinung (im Jahre 1757) gebraucht zu haben, wenn nicht schon ADANSON in seinem Reise-Journale vom Jahre 1751 von einem im Senegal gefangenen *Zitterfische*, der Aehnlichkeit mit einem Aale habe, dieselbe Bemerkung mitgetheilt hätte. „Diesen Fisch", heifst es daselbst, „nennen die Franzosen Zitterfisch, wegen seines Vermögens nicht sowohl eine Betäubung (engourdissement) hervorzubringen, wie der Zitterrochen, sondern ein sehr schmerzhaftes Erzittern in den Muskeln derer, die ihn anrühren. Seine Wirkung, die mir nicht merklich verschieden von der Erschütterung der Leidner Flasche erschien, welche ich bereits mehrere Male erfahren hatte, theilt sich auch bei der Berührung mit einem Stabe oder einer eisernen Stange von 5 bis 6 Fufs Länge mit, und zwar in einem solchen Grade, dafs man in demselben Augenblicke alles, was man in der Hand hat, fallen läfst[1]". Indessen läfst sich aus den wenigen anderweitigen Zügen, die ADANSON zur Charakteristik des Fisches mittheilt, und aus dem Aufenthaltsorte schliefsen, dafs jener Fisch nicht der *Gymnotus electricus*, sondern der *Silurus electricus* war. Aufser durch ALLAMAND wurden nun auch durch SEBA, ARTEDI, GAUBIUS und GRONOV[2] Nachrichten über diesen Fisch bekannt gemacht. Was man damals von ihm wufste, wird bei MUSSCHENBROEK[3] sehr vollständig erzählt.

Man begreift leicht, dafs durch die schönen Versuche des Engländers JOHN WALSH mit dem Zitterrochen der Zitteraal ein neues Interesse gewinnen mufste, und wirklich liefs auch die-

---

1 Lettre de MONTELIMART in Rozier Observat. etc. 1775. V. 444. Dieser Brief hat vorzüglich zum Zweck die Priorität der Vergleichung der Erschütterungen dieser Fische mit den elektrischen für ADANSON gegen s'GRAVESANDE, welchen PRINGLE, der Präsident der Royal Society in einer bei Gelegenheit der Entdeckung von WALSH gehaltenen Rede auf eine Linie mit s'GRAVESANDE gestellt hatte, zu vindiciren. Das Reise-Journal von ADANSON war zwar auch erst im Jahre 1757 erschienen, aber aus diesem erhellte gerade, dafs ADANSON jene Bemerkung schon im Jahre 1751 gemacht hatte. Doch bleibt s'GRAVESANDE immer noch das Verdienst, auch für sich diese Vergleichung gemacht zu haben, da ihm bei Mittheilung seiner Nachricht ADANSON's Journal noch nicht bekannt seyn konnte.

2 Descriptio Gymnoti tremuli in actis Helvet. Basil. 1760. p. 26.

3 Introductio ad Philosoph. natur. Lugd. Batav. 1762. I. §. 901.

ser Naturforscher auf seine Kosten mehrere derselben lebend nach England transportiren, wo sie in London im Jahre 1775 der Gegenstand vieler Versuche wurden, von denen zwar WALSH selbst keine Nachricht gegeben hat, von welchen aber die Abhandlungen von LE ROY[1] und INGENHOUSZ[2] eine nähere Auskunft geben. Auch machte nunmehr JOHN HUNTER[3], so wie früher von Zitterrochen eine meisterhafte Beschreibung und Abbildung vom elektrischen Organe dieses Fisches bekannt. Gleichzeitig mit jenen Arbeiten erschienen auch die Resultate der Untersuchungen zweier americanischer Naturforscher, die jedoch, wie es scheint, von der Entdeckung des Engländers WALSH in Betreff des Zitterrochens bereits Kunde hatten, nämlich von HUGH WILLIAMSON[4] in Philadelphia und von GARDEN[5] in Charlestown. Von späteren Abhandlungen, welche theils neue Bemerkungen lieferten, theils die frühern Erfahrungen bestätigten, verdienen dann noch genannt zu werden, diejenige von WILL. BRYANT[6], und von H. COLLINS FLAGG[7], und von SAM. FAHLENBERG[8]. Eine frühere Mittheilung eines DR. SCHILLING[9] über den Einfluſs der magnetischen Kraft auf den Zitteraal verlor dadurch ihr Interesse, daſs ihr durch alle spätere Versuche widersprochen wurde.

3. Der Zitterwels (*Silurus electricus*), der in den africanischen Flüssen zu Hause ist, wurde, wie schon oben bemerkt, ohne allen Zweifel zuerst von ADANSON, (1751) der

---

1 Lettre etc. par M. Le Roy. Journal de Physique ann. 1776. Oct. p. 333.

2 Ingenhousz vermischte Schriften von Molitor. Wien. 8. 1782. S. 272.

3 Account of the Gymnotus electricus. Phil. Trans. Vol. LXV. P. II. p. 395.

4 Phil. Trans. Vol. LXV. Year 1775. p. 94.

5 Ebend. p. 102.

6 Account of an electric Eel in den Transactions of the Americ. Society held at Philadelphia Tom. II. Philadelphia 1786. 4. im Auszuge im Goth. Magazin V. 3. S. 163.

7 Observations on the Numbfish or torporific Eel Ebend.

8 Vetensk. Acad, Nya Handlingar 1801. S. 122. Daraus in G. XIV. 456.

9 Nouveaux Mémoires de l'acad. de Berlin 1770. p. 68. und Observ. physic. de torpedine Pisce in Diatribe de Morbo in Europa pene ignoto quem Americani Jaws appellant. Traj. ad Rh. 1778.

ihn im Senegal fand, bekannt gemacht, später von Forskål[1] erwähnt, dann genauer von Broussonet[2] beschrieben, doch verdanken wir die nähere Kenntniſs seiner elektrischen Organe Geoffroy[3].

4. Der *Tetrodon electricus* (elektrische Stachelbauch) ist von dem englischen Schiffslieutenant Paterson[4] bei der Insel St. Juan, einer der Comoren zwischen der Küste Zangueber und der Insel Madagascar entdeckt und seine Beschreibung 1786 bekannt gemacht, aber die Nachrichten über seine elektrischen Eigenschaften sind eben so dürftig wie

5. in Betreff des *Trichiurus electricus*, der schon den ältern Ichtyologen Willougby[5] und Rai[6] bekannt war und von Nieubeck[7] erwähnt wird.

Eine Vergleichung der elektrischen Organe der drei ersten Fische lieferte Geoffroy in der oben erwähnten Abhandlung, so wie wir auch noch in den neuesten Zeiten Alex. v. Humboldt[8] einen gehaltreichen Aufsatz über alle elektrische Fische verdanken.

II. Die elektrischen Organe oder elektromotorischen Apparate.

Die merkwürdigen Wirkungen, welche die Zitterfische zeigen, hängen von gewissen, ihnen eigenthümlichen Organen ab, auf welche sie schon in den früheren Zeiten beim Zitterrochen bezogen worden sind, und welche daher auch, seitdem die elektrische Natur jener Erscheinungen auſser Zweifel gestellt worden, die elektrischen Organe und in neueren Zeiten nach der

---

1 Fauna arabica p. 15. Nr. I.

2 Mém. de l'acad. de Paris 1782.

3 Annales du Muséum d'hist. nat. I. 392. übersetzt in G. XIV. 397.

4 Phil. Trans. Vol. LXXVI. P. II. No. 9. u. im Goth. Magaz. Bd. IV. St. 4. S. 48.

5 Ichtyol. applic. III. 31.

6 Pisces p. 171. Vgl. Gmelin's Ausgabe von Linnaei Syst. Nat. Tom. I. Pars III. p. 114.

7 Dessen Indische Reise II. 270.

8 Sur les Gymnotes et autres Poissons électriques in Ann. de Chim. et Phys. XI. 408.

Aehnlichkeit mit der Volta'schen Säule ihre elektromotorischen Apparate genannt worden sind. Der Zitterrochen hat nach Réaumür's früheren und den spätern besonders genauen Untersuchungen Hunter's zwei elektrische Organe. Sie liegen zwischen den grofsen halbkreisförmigen Knorpel der Brustflossen, den Kiemen und der Hirnschale jedes auf seiner Seite. Der Länge nach reichen sie von dem vordern Ende des Thiers, dessen ganze Länge gewöhnlich 15 bis 20 Zoll beträgt (doch wurde an der südlichen Küste von England ein solcher Rochen von dritthalb Fufs Länge gefangen)[1] bis zu dem Querknorpel der die Brust von dem Bauche trennt, und nehmen ungefähr den dritten Theil der ganzen Länge des Körpers ein. In dieser ihrer Ausdehnung füllen sie zugleich die ganze Dicke des Thieres von oben nach unten aus, sind mit der ordentlichen Haut und unter dieser noch mit zwei besondern Membranen oder Bändern bekleidet, wovon die äufsere aus der Länge nach laufenden Fasern besteht, die in unzähligen Stellen durchbohrt zu seyn scheinen, und deren Ränder ringsumher mit der Haut verbunden sind; die innere dieselbe Beschaffenheit hat, doch so dafs ihre Fasern sich einigermafsen mit denen der äufsern kreuzen, indem sie von der Mittellinie des Körpers nach aufsen und rückwärts gehen. Unter diesen beiden Häuten befinden sich nun die eigentlichen Organe, nämlich senkrechte Prismen oder Säulen (*Columns*, Cylinder von Réaumür genannt) welche die Dicke eines Gänsekiels oder nach Hunter von 0,2 Zoll haben, von einer Seite des Körpers zur andern reichen, und deren Länge nach der verschiedenen Dicke des Fisches verschieden ist, die also nach innen am längsten, nach aufsen am kürzesten sind. Die Zahl dieser Säulen ist sich nicht gleich, und zwar bemerkt man diese Verschiedenheit nicht nur bei verschiedenen Zitterrochen, sondern sie scheint hauptsächlich auch von dem Alter des Thiers herzukommen, so dafs etwa, wenn der Fisch an Gröfse zunimmt, immer neue entstehen mögen. In demjenigen, welchen Hunter secirte, fand man 470 in jedem Organe, dagegen in jenem sehr grofsen, an der Küste von England gefangenen, Rochen sogar 1182 solcher Säulen in dem einzelnen Organe. Die meisten dieser Säulen sind nach Hunter entweder irreguläre Sechsecke oder Fünfecke, allein ihre Gestalt bleibt sich nicht gleich, doch will Hunter

---

1 Phil. Trans. LXVI. 1.

sie nie cylindrisch gefunden haben. Todd bemerkt von dem Rochen am Vorgebirge der guten Hoffnung, der jedoch eine andere Art zu seyn scheint, daſs die Säulen, in ihrem ganz freien Zustande, die Gestalt von Cylindern annehmen, und die verschiedene Gestalt, welche sie bei einem horizontalen Durchschnitte zeigen, von ihrer ungleichen Verbindung unter einander durch die Netzsubstanz herrühre. Bei getrockneten Rochen erscheinen auf der abgezogenen Haut einwärts sechs- und fünfeckige Eindrücke, welche von den irregulären Maschen der Membranen, von denen jene Säulen nach auſsen überdeckt sind, herrühren, welche gegen die Haut gedrückt, jene Eindrücke zurücklassen, die der Haut gleichsam das Ansehn eines Bienenwasens geben. Die Häute der Säulen sind sehr dünn, durchscheinend und genau mit einander zusammenhängend, vermittelst eines lockern Netzgewebes von sehnigten Fasern, die der Quere nach und schief zwischen den Säulen laufen.

Jede Säule ist durch horizontal liegende Theilungen *(partitions)* oder Scheidewände getheilt, welche in geringer Entfernung über einander liegen, und eine Menge Zwischenräume oder Fächer bilden, welche, wie schon Réaumür genau bemerkt hat, eine dickliche gallerteiweiſsartige Flüssigkeit enthalten, die durch das Kochen noch dicker wie eine Art Kleister wird. Die Scheidewände bestehen aus sehr dünnen und durchsichtigen Membranen, ihre Ränder sind unter einander verbunden, und alle hängen mittelst eines feinen zelligen Gewebes an den innern Seiten der Säulen, auſserdem hängen sie noch mit einander durch feine Blutgefäſse, die von der einen zur andern gehen, zusammen. Eine, einen Zoll lange, Säule eines Krampfrochens, den man in Weingeist aufbewahrt hatte, enthielt nach genauer Zählung hundert und funfzig solcher Theilungen, und diese Zahl scheint sich bei gleicher Länge der Säulen gleich zu bleiben, der Fisch mag so groſs seyn, als er wolle, nur muſs er in dem gleichen Zustande von Feuchtigkeit seyn, daher wird wahrscheinlicherweise, so wie die Säulen mit dem Thiere, wenn es älter und gröſser wird, an Länge zunehmen, der Zwischenraum zwischen je zwei Theilungen verhältniſsmäſsig nicht gröſser, sondern es bilden sich vielmehr neue Theilungen, die von den Häuten aus, welche die elektrischen Organe oben und unten bedecken, hinzukommen. Mit jener Angabe Hunter's von einer so auſserordentlichen Anzahl von Theilungen stimmt indeſs

Réaumür's Angabe, der in der ganzen Länge einer Säule nur 25 bis 30 Theilungen wahrgenommen haben will, nicht gut überein, wobei es zweifelhaft bleibt, ob vielleicht neben den feinern Theilungen noch gewisse gröbere, mehr in die Augen fallende, vorkommen, so daſs auf jeden递 Haupttheil wieder 20 bis 30 Unterabtheilungen kommen würden. Diese Theilungen sind voller Gefäſse, die Arterien sind Aeste von denjenigen Gefäſsen der Kiemen, welche das schon durch das Athemholen veränderte Blut fortleiten; sie gehen sammt den Nerven in die elektrischen Organe, wo sie sich an den Seiten der Säulen nach jeder Richtung in unzählige kleinere Aeste verbreiten, und bei jeder Theilung rings um die Säule herum und in selbige hineingehen und mit den benachbarten Aestchen anastomosiren, die Venen kommen in genauer Verbindung mit den Nerven heraus, und laufen zwischen den Kiemen und dem Herzrohre fort.

Die *Nerven*, die sich in jedes elektrische Organ einpflanzen, entspringen in drei groſsen Stämmen von dem Seiten- und hintern Theile des Gehirns. Diese Nerven geben nur einige kleine Zweige an die Kiemen, an denen sie vorbeigehen, ab; der vordere Hauptstamm senkt sich in den vordern, der mittlere in den mittleren, der hintere mit seinen zwei Aesten in den mehr hintern Theil. Sie sind dem *N. Vagus* der vollkommneren Thiere zu vergleichen. Wenn die Nerven in das Organ selbst eingedrungen sind, theilen sie sich nach jeder Richtung zwischen den Saulen, dringen an jeder Theilung mit kleinen Zweigen in diese hinein und verlieren sich so auf den Scheidewänden. Die Stärke und Menge der Nerven, welche die el. Organe nach Verhältniſs ihrer Gröſse erhalten, muſs, wie Hunter treffend bemerkt, eben so erstaunlich vorkommen, als die Erscheinungen, die sie hervorbringen. Die Nerven sind den Theilen des Körpers entweder zur Empfindung oder Bewegung gegeben. Mit Ausnahme der höheren Sinne ist auch beim vollkommensten Thiere kein Theil, welcher im Verhältniſs seiner Gröſse so reichlich mit Nerven versehen wäre, und doch dienen die elektrischen Organe auf keine Weise als eigentliches Empfindungsorgan. Was aber die Bewegung anbelangt, so giebt es keinen Theil eines Thiers, der, so stark und anhaltend auch seine Bewegungen seyn mögen, eine so groſse Menge Nerven besäſse. Man kann daraus mit gröſserer Wahrscheinlichkeit schlieſsen, daſs die Nerven eine besondere Beziehung auf die eigen-

thümlichen (elektrischen) Wirkungen der elektrischen Organe haben möchten.

Der sogenannte *Zitteraal*, dessen erschütternde (elektrische) Kraft diejenige des Zitterrochens noch weit übertrifft, hat auch verhältnifsmäfsig mehr ausgedehnte elektrische Organe, wofür man wenigstens allen Grund hat, diejenigen, welche den gröfsten Theil des Schwanzes dieses Fisches ausmachen, nach ihrer Aehnlichkeit mit dem elektrischen Organe des Zitterrochens, und nach dem Umstande, dafs die elektrischen Erschütterungen vorzüglich von dem Schwanze ausgehen, anzunehmen. Wirklich ist auch derjenige Theil des Körpers, welcher diejenigen Organe enthält, die der Zitteraal mit den Fischen seines Geschlechtes gemein hat, beträchtlich kleiner, als der Schwanz, welcher die elektrische Kraft besitzt, und 0,75 der ganzen Länge des Thiers ausmacht, die nach v. Humboldt bisweilen 6 Fufs erreichen soll, bei denjenigen Thieren, die Hunter beschrieb, jedoch nur etwas über 2 Fufs betrug, und von dem die elektrischen Organe selbst wieder beinahe die Hälfte und somit mehr als ⅓ des ganzen Thiers betragen. Es sind deren zwei Paare, ein gröfseres oberhalb und ein kleineres unter demselben gelagert. Jenes macht die Hauptdicke des Schwanzes aus und erstreckt sich vom Leibe bis zum Ende des Letztern; jedes einzelne dieses oberen gröfseren Paars ist am breitesten nach vorn, wo es sich gleichsam am meisten seitwärts ausdehnt, wird nach hinten schmäler, und endigt sich fast in eine Spitze. Die beiden Organe, die dieses Paar bilden, sind oberwärts durch die Rückenmuskeln von einander getrennt, welche ihre oberen Ränder in einer beträchtlichen Entfernung von einander halten, unter diesen und gegen die Mitte zu sind sie durch die Schwimmblase von einander geschieden, und an ihrem untern Theile durch eine membranöse Scheidewand. Das kleinere Organ liegt längs dem untern Rande, und hat beinahe dieselbe Ausdehnung in der Länge wie das gröfsere Organ. Das vordere Ende jedes einzelnen Organs (die beide zusammen das kleinere Paar bilden) beginnt beinahe in gleicher Linie mit dem gröfseren, gerade da, wo die lange Schwanzflosse des Thiers ihren Anfang nimmt, und endigt nahe am Ende des Schwanzes, wo auch das gröfsere aufhört. Es hat eine dreieckige Figur gemäfs den Theilen, in welchen es liegt. Sein vorderes Ende ist das schmälste; dann wird es breiter, in der Mitte ist es am dicksten und von da an wird

es dünner, bis es am Ende in eine Spitze ausläuft. Die beiden kleineren Organe sind von einander durch die mittleren Muskeln getrennt, und durch die Beine, in welchen die Gräten der Flossen artikulirt sind. Das grössere (breitere) und kleinere Organ auf jeder Seite sind durch eine Membrane von einander geschieden, deren innerer Rand an der Mitteltheilung befestigt ist, und der äufsere sich in die Haut des Thiers verliert. Um das gröfsere Organ ansichtig zu machen, ist nichts weiter nöthig, als die Haut zu entfernen, welche durch ein lockeres Zellgewebe daran hängt. Um aber das kleinere Organ darzulegen, ist erforderlich, die lange Reihe von kleinen Muskeln zu entfernen, welche die Flosse bewegen.

Die Structur dieser Organe ist sehr einfach und regelmäfsig; sie bestehen aus zwei Theilen, nämlich den flachen Theilungen *(partitions)* oder Wänden *(septa)* und den zwischen ihnen quer übergehenden Theilungen *(cross divisions)*. Die äufseren Ränder von jenen Wänden sehen auswendig aus wie Linien, die fast parallel mit der Länge des Thiers gehen. Diese Wände sind dünne, beinahe parallel mit einander laufende Häute. Sie gehen der Länge nach mit der Längenaxe des Thiers fast in einer Richtung und ihre Breite kommt beinahe mit dem halben Durchmesser seines Körpers an jeder Stelle überein. Sie sind von verschiedener Länge, einige von ihnen sind fast so lang als das ganze Organ. An dem vordern Ende des Organs nehmen sie ihren Anfang, einige wenige ausgenommen, welche an dem obern Rande desselben beginnen, sie gehen zusammen hinterwärts, und endigen sich allmälig an der untern Fläche des Organs, und diejenigen, welche am weitesten unterwärts anfangen, zuerst. Ihre Breite ist ebenfalls an verschiedenen Stellen des Organs verschieden. Am breitesten sind sie gemeiniglich nicht weit von ihrem vordern Ende. Hier sind sie nämlich so breit als der dickste Theil des Organs, nach dem Schwanze zu werden sie immer schmäler, jedoch auch ganz vorne, wo sie anfangen, sind sie sehr schmal. Diejenigen, welche den Rückenmuskeln am nächsten liegen, sind am breitesten, weil sie sich nach der Lage dieser Muskeln heraufwärts krümmen, nach unten zu werden sie aber allmählig schmäler. Dieses rührt gröfstentheils davon her, weil sie mehr schief gehen, auch das Organ an dieser Stelle schmäler wird. Sie haben einen äufsern und innern Rand. Der äufsere hängt an der Haut des Thieres, an

den Seitenmuskeln der Floſsfedern, und an der Membrane, welche das groſse Organ von dem kleinen trennt, ihre inneren Ränder aber sind alle an der mittleren Theilung, auch an der Schwimmblase fest, und drei oder vier endigen sich an der Fläche, welche die Rückenmuskeln begränzt. Diese Wände sind an ihren äuſsern Rändern, nahe an der Haut, an der sie festhängen, am weitesten von einander entfernt; so wie sie aber von der Haut nach ihrer inneren Beſestigung hingehen, kommen sie wieder näher zusammen; ja man findet bisweilen zwei in eine vereinigt. Es ist schon bemerkt, daſs sie an der Seite, wo die Rückenmuskeln liegen, von einem Rande nach dem andern heraufwärts gekrümmt sind, indem sie sich nach der Gestalt dieser Muskeln richten; allein dieses findet nach der Mitte des Organs zu (von oben nach unten genommen) immer weniger statt; und von hier nach dem untern Theile des Organs krümmen sie sich nach der entgegengesetzten Richtung. Am vordern Theile des groſsen Organs, wo es fast gleiche Breite hat, gehen sie mit einander ganz parallel (nämlich in Beziehung auf die Längendimension) folglich auch ganz gerade fort; wo aber das Organ schmäler wird, da siehet man sie sich an einigen Stellen vereinigen, besonders da, wo ein Nerv quer durchgeht. Das Ende dieses Organs am Schwanze ist so schmal, daſs Hunter (von welchem diese Beschreibung wörtlich entlehnt ist) nicht bestimmen konnte, ob es aus einer oder mehreren Wänden bestehe. Der Abstand dieser Wände von einander ist wahrscheinlich nach der Gröſse der Fische verschieden. Bei einem Fische, welcher zwei Fuſs und vier Zoll lang war, fand Hunter, daſs sie $\frac{1}{17}$ Zoll von einander entfernt waren, und die Breite des ganzen Organs (richtiger die Höhe) betrug da, wo es am breitesten war, etwa 1,25 Zoll, und in diesem Raume fanden sich vier und dreiſsig Wände.

Das kleinere Organ hat eben solche Wände, welche in der Länge von dem einen Ende zum andern und in der Breite gerade quer übergehen; sie laufen etwas schlangenförmig nicht in geraden Linien. Ihre äuſsern Ränder endigen sich an der äuſsern Seite des Organs, welche an die innere Seite der Muskeln der Floſsfeder stöſst, und ihre inneren Ränder kommen mit den Muskeln in der Mitte in Berührung. Der Breite nach sind sie sehr verschieden, die breiteste kommt mit der einen Seite des Triangels, den das Organ hier bildet, überein, und die schmal-

ste ist kaum breiter wie die Spitze oder der Winkel desselben. Sie stehen fast gleich weit von einander ab, aber sie sind weit näher beisammen, als die Wände des grofsen Organs, denn ihre Entfernung von einander beträgt etwa $\frac{1}{16}$ Zoll. Nach dem Schwanze zu liegen sie aber weiter von einander, so wie das Organ selbst sich erweitert. Das Organ selbst ist etwa einen halben Zoll breit (hoch) und hat vierzehn Wände. An beiden Organen sind diese Wände sehr zart, und lassen sich leicht zerreifsen; sie scheinen mit den Säulen des Zitterrochens einerlei Bestimmung zu haben, indem sie den Unterabtheilungen gleichsam zur Befestigung und Unterstützung dienen, und man kann sie als eben so viele besondere Organe ansehen. Diese Wände werden durch dünne Häute in die Quere durchschnitten, deren Breite sich immer nach der Entfernung richtet, in welcher zwei Wände von einander abstehen; mithin ist sie an verschiedenen Stellen verschieden. Am breitesten sind sie an dem Rande, welcher der Haut, und am schmalsten an dem, welcher der mittleren Theilung, die beide Organe von einander trennt, am nächsten ist. Ihre Länge kommt ganz mit der Breite der Wände, zwischen denen sie liegen, überein. Zwischen zweien solchen Wänden gehen sie immer in einer ordentlichen Reihe fort, von einem Ende desselben bis zum andern, und liegen so nahe an einander, dafs sie sich fast zu berühren scheinen. Innerhalb des Raumes eines Zolles in der Länge zählt man gegen 240, mithin machen sie im Ganzen eine sehr grofse Fläche aus.

Diese Organe sind mit Nerven aus dem Rückenmarke versehen, und diese kommen paarweise zwischen den Rückgratswirbeln heraus. Sie versorgen auf ihrem Fortgange sowohl die Muskeln als die Haut, und verlieren sich in sehr feinen Verzweigungen in den el. Organen. In Rücksicht auf ihre verhältnifsmäfsige Gröfse gilt dasselbe, wie beim Zitterrochen, nur dafs sie bei diesem relativ noch ansehnlicher sind. Viel einfacher als bei diesen beiden Arten ist der Bau des elektrischen Organs bei dem *Zitterwels* nach Geoffroy's Untersuchung. Es umgiebt nämlich hier den ganzen Körper, liegt unmittelbar unter der Haut und ist aus einer beträchtlichen Schicht Zellgewebe gebildet, welches so fest und dicht ist, dafs man es auf den ersten Blick für eine Lage Speck halten könnte. Betrachtet man es aber genauer, so sieht man, dafs dieses Organ aus wirkli-

chen sehnichten oder aponevrotischen Fasern besteht, die sich überall durchkreuzen und so ein Netz bilden, dessen Geflechte man nur durch eine Loupe deutlich sehen kann. Die kleinen Zellen oder Maschen dieses Netzes sind mit einer eiweifs- und gallertartigen Flüssigkeit ausgefüllt. Mit den inneren Theilen können sie in keiner Verbindung stehen, da eine sehr starke Sehnenhaut sich über das ganze elektrische Organ ausbreitet, und demselben so fest anhängt, dafs man sie nicht davon trennen kann, ohne sie zu zerreifsen. Uebrigens hängt diese Sehnenhaut mit den Muskeln nur durch wenig lockeres Zellgewebe zusammen. Die Nerven, welche zu diesem Organe gehen, kommen aus dem Gehirne und sind dieselben, die nach Cuvier bei allen Fischen unmittelbar unter die Seitenlinie gehen, und analog den Nerven des achten Paares (*N. Vagus*) bei den höheren Thieren. Im Zitterwelse haben aber diese beiden Nerven des achten Paares einen eigenthümlichen Verlauf und eine ausgezeichnete Dicke. Sie nähern sich einander bei ihrem Austritte aus dem Hirnschädel, und steigen zum Körper des ersten Wirbelbeins zurück, durch welches sie hindurchgehen. Sie dringen jeder durch eine eigene Oeffnung in ihn ein, und gehen dann beide auf der entgegengesetzten Seite durch eine gemeinschaftliche Oeffnung heraus, entfernen sich plötzlich und gehen unter die Seitenlinie hinab, dann laufen sie zwischen den Bauchmuskeln und der sehnigten Membrane, die sich über das elektrische Netz ausbreitet, hin, und dringen endlich bis unter die Haut mittelst grofser Aeste, die rechts und links vom Stamme des Nerven abgehen. An jeder Seite sind 12 bis 15 solcher Aeste, welche die Sehnenhaut durchbohren, bis sie mitten in das netzartige Gewebe hineindringen, und sich durch dasselbe verbreiten.

So verschieden diese elektrischen Organe auch dem äufsern Anblicke nach erscheinen, so haben sie doch in vieler Hinsicht Aehnlichkeit und im Wesentlichen eine gleichartige Structur. Die el. Fische sind die einzigen, bei denen man so ausgebreitete und so viele Sehnenhäute antrifft, zu Zellen gebildet, in welchen sich eine eigenthümliche eiweifs- gallertartige Flüssigkeit befindet, und zu welchen ansehnlichere Nerven wie zu irgend einem andern Organe gehen. Insbesondere ist bei den beiden ersten Arten noch eine merkwürdige Regelmäfsigkeit in der Anordnung der Zellen auffallend, vermöge welcher sie

einigermaſsen eine Vergleichung mit einer Volta'schen Säule zulassen, eine Aehnlichkeit, die jedoch in der dritten Art weniger bestimmt nachzuweisen ist, und auf welche ich in den theoretischen Betrachtungen wieder zurückkommen werde.

Fig. 51. Zur Versinnlichung der elektrischen Organe sowohl des Zitterrochens als des Zitteraals möge die Abbildung eines Durchschnittes der el. Organe dieser beiden Fische dienen, welche aus den beiden musterhaften Abhandlungen von John Hunter[1] entlehnt sind. Die Figur stellt einen Querschnitt in der gröſsten Dicke des Schwanzes des Zitteraals dar: gg die beiden groſsen elektrischen Organe, wo die feinen Striche die zahlreichen Unterabtheilungen jeder Hauptabtheilung sichtlich machen, pp die beiden kleineren elektrischen Organe, v die Schwimmblase, mmmm Längenmuskeln, n die Wirbelsäule, d die äuſsere Oberfläche der Haut von der einen Seite, e die Afterflosse. Die andere Figur bezeichnet einen senkrechten Schnitt des Zitterrochens hinter den Einathmungsöffnungen; AA die Oberfläche des Fisches, BB die Muskeln des Rückens, wie sie durch den Schnitt eingetheilt sind, C das Rückenmark, D der Oesophagus, E die linke Kieme zerschnitten, um den Verlauf eines Nervenstammes durch dieselbe darzulegen; F die athmende Oberfläche der rechten Kieme, GG die Flossen, HH die senkrechten Säulen oder Prismen, welche das elektrische Organ ausmachen mit einer Darstellung ihrer horizontalen Theilungen, I einen von den Nervenstämmen mit seinen Verzweigungen. (Fig. 52.)

III. Wirkungen, welche von den elektrischen Organen abhängen. Elektrischer Charakter derselben.

Wir wollen die Wirkungen, die von jedem der beiden elektrischen Fische, über die allein genauere Erfahrungen in dieser Hinsicht gemacht worden sind, besonders betrachten, da sie bei allem Gemeinschaftlichen doch wieder in Absicht der Stärke, Art und der bedingenden und begleitenden Umstände manches Eigenthümliche haben.

Was zuerst die *Empfindungen* betrifft, die der *Zitterrochen* erregt, so werden sie von den verschiedenen Beobachtern et-

1 Vgl. Phil. Tr. LXV. 407. und LXIII. 489.

was verschieden angegeben, was nicht zu verwundern ist, da Empfindungen, die sich auf das Gemeingefühl beziehen, überhaupt schwer zu beschreiben sind. In dieser Hinsicht wird die Angabe derjenigen Beobachter interessant, denen die elektrischen Erschütterungen noch nicht bekannt waren, und die daher auch ohne vorgefaſste Idee einer Aehnlichkeit mit diesen sie auffaſsten. Réaumür beschreibt die ihm erregte Empfindung als eine Betäubung (engourdissement), die sich plötzlich seines ganzen Armes und der Hand bis zur Schulter bemächtigte, selbst den Kopf etwas ergriff, aber von einer gewöhnlichen Betäubung, namentlich von jener, welche man das *Einschlafen* der Glieder nennt, ganz verschieden gewesen sey, begleitet von einem starken, jedoch dumpfen Schmerze, wie wenn die Finger einen plötzlichen Schlag erhalten hätten, als eine Empfindung, die unter den ihm damals bekannten mit derjenigen noch am meisten Aehnlichkeit habe, die man erleidet, wenn man sich mit dem Elbogen etwas stark an einen harten Körper gestoſsen hat. Seit Walsh hat man die Schläge mit elektrischen Erschütterungen verglichen, namentlich Walsh selbst mit derjenigen einer schwach geladenen Leidner Flasche, und an einem andern Orte bemerkt er, daſs schnell auf einander folgende kleine Leidner Schläge dieselbe Betäubung oder Erstarrung, wie der Zitterrochen, bewirke. Gay-Lüssac und Humboldt äuſsern sich dahin, daſs die Empfindung derjenigen des Entladungsschlages einer Leidner Flasche zwar gewissermaſsen analog, aber doch wesentlich von ihr verschieden sey, durchdringender, convulsivischer, schmerzhafter, und wenn der Fisch schon kraftlos sey, dem Gefühle des Sehnenhüpfens ähnlich[1]. An einem andern Orte findet Humboldt eine besondere Aehnlichkeit der Empfindung, die der Zitterroche verursacht, und der schwächeren Schläge des Zitteraals mit jenem schmerzhaften Erbeben (frémissement), von dem er bei jedesmaliger Berührung einer Zink- und Kupferplatte unter einander, die an Wunden applicirt waren, die er sich auf dem Rücken durch Blasenpflaster gemacht hatte, ergriffen wurde. Configliachi endlich[2] findet die Empfindung in den Händen und Armen bei gleichzeitiger Berührung des Bauchs und Rückens des Fisches ganz überein-

---

1 G. XII. 3.

2 a. a. O. S. 654.

stimmend mit derjenigen, welche eine mit Kochsalz aufgebaute Volta'sche Säule von 30 Platten-Paaren und darüber ertheilt. Ein alter und ziemlich grofser Zitterrochen zu Genua wirkte auf Gardini [1] so stark, dafs er ihn nicht nur zu Boden warf, sondern auch in seinen Gliedern eine gröfsere Erstarrung und lange Zeit fortdauernden beschwerlichern dumpfen Schmerz zurückliefs, als ihm je elektrische Erschütterungen von einer Leidner Flasche verursacht hatten.

Die Stärke der Erschütterung oder Betäubung hängt indefs sehr von der verschiedenen Art ab, wie man mit dem Fische in Verbindung kommt, so wie von der Stärke des Fisches selbst. Was das Erstere betrifft, so sind vorzüglich diejenigen Umstände zu berücksichtigen, welche auf die besondere Rolle der elektrischen Organe bei Ertheilung der Erschütterungen hinweisen. Walsh [2] hat zu scharf als wesentlich nothwendige Bedingung zur Erhaltung der Erschütterung aufgestellt, dafs zwischen der oberen und unteren Fläche eines oder beider Organe eine Verbindung (*intercourse*) sey, und dafs keine Erschütterung durch eine isolirte Person erhalten werde, wenn diese die Organe nur oben oder unten berühre. Diesem widersprechen die späteren Beobachtungen namentlich die von Spallanzani, Gay-Lüssac und Humboldt. Ersterer bemerkt ausdrücklich, dafs wenn er isolirt war, und der in der Luft befindliche Fisch nur an einer einzigen Fläche mit der Hand berührt wurde, er einen, jedoch nur schwachen, Schlag erhielt, womit auch Gay-Lüssac und Humboldt übereinstimmen. Berührt man bei einem isolirten Fische zugleich beide Organe an der oberen Fläche z. B. mit zwei Fingern an den gleichen Stellen, so empfindet man den Schlag von jedem elektrischen Organe besonders, bisweilen aber auch nur von einem, und zwar geht in diesem Falle die Empfindung nicht über den Finger hinaus. Indefs mufs diese einseitige Berührung stets an dem Organe selbst oder wenigstens ganz in ihrer Nähe statt finden, denn fafst man z. B. in der Luft den Fisch am Schwanze an, so erhält man nie eine Erschütterung, wie schon Réaumür bemerkt hat; auch bekam Todd nie einen Schlag, wenn er den Fisch an den Enden der Seitenflossen hielt. Doch sind sie nach den übereinstimmenden

---

1 De electrici ignis natura. Mantua 1792. §. 71.

2 a. a. O. 472.

Erfahrungen aller Beobachter, namentlich GAY-LÜSSAC's und v. HUMBOLDT's stets am stärksten, wenn man beide Organe oder auch nur eines an der obern und untern Fläche zugleich berührt, und der Schlag ist in dem Verhältnisse stärker, in welchem die Berührungsfläche gröſser ist, stärker also, wenn man die el. Organe mit der flachen Hand, als wenn man sie mit den bloſsen Fingerspitzen berührt. Indeſs ist der Schlag in diesem Falle nicht in beiden Händen gleich stark, sondern immer stärker in derjenigen, welche den Rücken berührt, und SPALLANZANI will sogar gewöhnlich in derjenigen Hand, welche den Bauch berührte, keinen Schlag empfunden haben. Er bemerkt auch, daſs er bei der Berührung nur der einen Fläche, wenn er den Fisch an der Brust stach, keinen so starken Schlag erhalten habe, als wenn er den Rücken reizte. Doch bemerkt er an einem andern Orte, daſs, als er einmal mit der Hand die untere Fläche rieb, indem er die obere zugleich berührte, nur jene mit Ausschluſs von dieser den Schlag erhalten habe. In allen Fällen, wenn beide Hände bei einer solchen Berührung einen Schlag erhalten, ist er gleichzeitig. Auch CONFIGLIACHI bemerkte eine Verschiedenheit der Empfindung, je nachdem er mit der Hand am Bauche oder am Rücken schloſs, ganz ähnlich derjenigen, wenn man bei einer Volta'schen Säule am negativen oder positiven Ende schlieſst, was also gleichfalls die stärkere Empfindung auf die Seite des Rückens hinweist.

Allezeit sind die Schläge stärker, wenn man es nicht bei der bloſsen Berührung bewenden läſst, sondern die Haut des Fisches auf irgend eine Weise reizt, durch Drücken (doch will INGENHOUSZ bei mehr oder weniger starkem Drucke seiner Finger keine Veränderung in der Stärke der Schläge bemerkt haben), Reiben, am sichersten aber durch Stechen. Auf diese Art zählte SPALLANZANI 23 Schläge in einer Minute, wovon der letzte eben so stark als der erste war. Dasselbe bemerkt auch INGENHOUSZ, und sogar daſs, wenn die Schläge schnell auf einander folgten, sie statt schwächer zu werden, vielmehr stärker wurden, es mochte das Thier sich im Wasser oder in der Luft befinden. WALSH erhielt in einer Minute 100 Schläge, indem der Rochen zwischen beiden Händen gehalten, abwechselnd aus der Luft unter Wasser bis auf einen Schuh untergetaucht und wieder emporgehoben wurde, und zwar die stärksten jedesmal in dem Augenblicke, da der Fisch bei diesem

Auf- und Abwärtsbewegen die Oberfläche des Wassers berührte und wieder aus demselben auftauchte.

Unmittelbarer auf die elektrische Natur des hierbei statt habenden Vorganges deuten folgende Verhältnisse. Die Schläge sind in der Luft unter übrigens gleichen Umständen um vieles stärker als unter dem Wasser, nach Walsh wohl viermal stärker. Unmittelbare Berührung des Fisches ist nicht nöthig, um die Erschütterungen zu erhalten. Schon Réaumür bemerkt, daſs, als er den Fisch mit seinem Stocke berührte, er eine, wenn gleich viel schwächere Erschütterung empfand. Walsh führt an, daſs als ein Zitterrochen in einem Korbe mit einem Netze oberwärts bedeckt, drei Zolle unter der Oberfläche des Wassers gehalten wurde, bei der Berührung desselben mit einem kurzen, halb unter dem Wasser halb über demselben befindlichen, eisernen Bolzen, wenn man diesen mit der einen Hand anfaſste, während die andere in einiger Entfernung vom Fische unter das Wasser getaucht war, starke Schläge in beiden Händen empfunden wurden. Ja, wenn an diesem Bolzen nur ein feuchter hanfener Strick befestigt, und in der Hand über dem Wasser gehalten wurde, erhielt Walsh Schläge. Auch Spallanzani bestätigt die Beobachtung einer Mittheilung der Erschütterungen bei mittelbarer Berührung des Fisches durch einen andern Körper, doch muſste derselbe ein Leiter der Elektricität seyn, aber es war auch in diesem Falle die Erschütterung stets schwächer als bei unmittelbarer Berührung. Schon nasses Tuch oder ein nasses Netz leiteten den Schlag, der jedoch, wenn diese Körper trocken waren, verhindert wurde. Walsh berichteten die Fischer, daſs beim Fischfange sie oft schon in einer Tiefe von 12 Fuſs durch die Erschütterungen, die sie erhielten, die Anwesenheit des Zitterrochens im Netze erkennen. Wurde die Oberfläche der elektrischen Organe mit Baumöl bestrichen, so wurde der Schlag nach Spallanzani dennoch durchgeleitet. Damit läſst sich die Beobachtung Gay-Lüssac's und Humboldt's immer noch vereinigen, daſs bei der Berührung mit den besten metallischen Leitern keine Erschütterung erhalten werde. Dieses gilt nämlich nur für den Fall, wenn bloſs eine einseitige Communication mit dem Fische statt findet und dieser oder der Mensch übrigens isolirt ist, denn in den Versuchen von Walsh mit dem eisernen Bolzen fand ein wirklicher Leitungskreis durch die Hände und das Wasser von der

obern zur untern Fläche statt. Wenn daher GAY-LÜSSAC und v. HUMBOLDT den Zitterrochen mit der unteren Fläche der elektrischen Organe auf eine metallene Schüssel legten, so empfanden sie, wenn sie die Schüssel in der Hand hielten, nie einen Schlag, selbst wenn eine andere Person, die isolirt war, den Fisch reizte, und die convulsivischen Bewegungen der Brustflossen die stärksten Entladungen des el. Fluidums anzeigten. Berührte dagegen derjenige, welcher die Schüssel hielt, mit der andern Hand die obere Seite der el. Organe, so fühlte er in beiden Armen zugleich einen heftigen Schlag. Dasselbe war der Fall, wenn der Fisch zwischen zwei metallenen Schüsseln lag, deren Ränder sich nirgends berührten, und man dann an beide die Hände brachte. Berührten sich aber die beiden Schüsseln in irgend einem Puncte, so fühlte man nichts. Hier war also der eine metallische Entladungskreis vollkommen hinreichend zur vollständigen Entladung, gerade so wie die Hand, welche den metallenen Auslader hält, durch welchen man die beiden Belegungen einer geladenen Leidner Flasche mit einander in Verbindung bringt, bei der Entladung nichts empfindet. Indefs kann doch auch beim Rochen, wie bei einer Leidner Flasche, die Entladung durch mehrere Canäle zugleich geleitet werden, wenn jeder einzelne Entladungskreis aus unvollkommenen Leitern besteht, wo dann aber die Erschütterung in demselben Verhältnisse mit der Menge solcher Kreise für die Einzelnen geschwächt wird. Nach WALSH bekamen vier Personen, die auf einmal einen Zitterrochen anrührten, gleichzeitig Schläge, doch jeder einzelne nur schwach. Bemerkenswerth ist noch bei der Mittheilung der Erschütterung durch Zwischenleiter, dafs das Wasser für sich allein diesen Dienst zu leisten nicht im Stande ist. GAY-LÜSSAC und HUMBOLDT bemerken ausdrücklich, dafs so lebhafte Erschütterungen man auch unter dem Wasser erhält, doch die unmittelbare Berührung der Organe wenigstens an einer Stelle (oder nach WALSH wohl auch mit einem sonstigen guten Leiter) erforderlich sey, und dafs die Wirkung nie erfolge, wenn auch eine noch so dünne Wasserschicht den sich nahenden Finger von dem Organe trenne. Da jedoch der viel stärkere Zitteraal auch unter dieser Bedingung Schläge ertheilen kann, so liefse sich wohl auch für sehr kräftige Zitterrochen das Gegentheil davon voraussagen, und die Bedingung kann also nur als eine relative angesehen werden.

Die Erschütterung kann in mehreren Personen zugleich hervorgebracht werden, wenn sie auch nicht unmittelbar den Fisch berühren, sondern nur einen leitenden Kreis bilden, dessen äufserste Glieder mit den Organen des Fisches in unmittelbarer Berührung sind. Dieser Versuch nun war es vorzüglich, der die *elektrische* Natur dieses Vorganges am meisten ins Licht stellte, und den wir zuerst in seiner ganzen Reinheit und mit der bestimmten Vergleichung mit dem gleichen Verhalten bei der Entladung einer Leidner Flasche John Walsh verdanken. Dieser interessante Versuch wurde zum erstenmal vor den Mitgliedern der Akademie zu Rochelle den 22. Juli 1772 unter folgenden Umständen angestellt. Ein lebender Zitterrochen lag auf einem Tische. Um einen andern Tisch herum standen fünf Personen isolirt. Zwei messingene Drähte, jeder 13 Fufs lang, waren durch seidene Fäden an der Decke des Zimmers aufgehängt. Einer der Drähte ruhete mit dem einen Ende auf dem nassen Teiche, auf welchem der Fisch lag, das andere tauchte in ein mit Wasser gefülltes Becken, das mit vier andern solchen Becken auf dem andern Tische stand. Die erste Person steckte den Finger der einen Hand in das Becken, in welches der Draht eingetaucht war, und den Finger der andern Hand in das nächstfolgende Becken. Auf gleiche Weise steckten die übrigen Personen ihre Finger in die übrigen Becken, so dafs sie alle durch das Wasser in den Becken mit einander in Verbindung standen, in das letzte Becken war das eine Ende des andern Messingdrahtes eingetaucht, und mit dem andern Ende berührte Walsh den Rücken des Fisches, und in demselben Augenblicke fühlten also fünf Personen eine Erschütterung, die nur an Stärke von derjenigen einer Leidner Flasche abwich. Walsh, der sich selbst nicht in dem Erschütterungkreise befand, erhielt auch keinen Stofs. Derselbe Versuch wurde auch mit 8 Personen wiederholt. Sobald dieser Kreis durch Nichtleiter der Elektricität, wie Glas, Siegellack u. d. gl., womit eine der Personen in das Wasser eintauchte, unterbrochen wurde, so blieb auch die Erschütterung aus. Ein gleicher Versuch wurde auch von Spallanzani desgleichen von Gay-Lüssac und v. Humboldt mit demselben Erfolge wiederholt.

Bei dieser vollkommenen Uebereinstimmung mit dem Leidner Versuche war nun zu erwarten, dafs man auch einen wirklichen el. Funken bei dem Durchgange des el. Fluidums durch

diesen Kreis erhalten würde, wenn man irgendwo eine Unterbrechung anbrächte, die nicht zu grofs wäre, um den Durchbruch der Elektricität zu verhindern. Walsh machte aber in dieser Hinsicht vergebliche Versuche, denn auch die kleinste Trennung, welche in einem auf Siegellack geklebten und zur Leitung dienenden Streifen Stanniol durch einen höchst feinen Schnitt mit dem Messer angebracht war, hinderte die Entladung. Eben so wenig konnten andere Naturforscher wie Spallanzani, Gay-Lüssac und Humboldt und Configliachi den kleinsten Funken hervorlocken. Letzterer erwähnt zwar eine Empfindung von Licht oder vorübergehenden Schein[1], welche der Zitterrochen gewährte, es ist aber nach dem ganzen Zusammenhange hierunter nur jene subjective Lichtempfindung zu verstehen, welche sowohl einfache Ketten als Volta'sche Säulen, wenn ihr el. Strom durch das Auge selbst oder demselben nahe liegende Theile geleitet wird, hervorbringen, eine übrigens höchst interessante Beobachtung, wobei man nur zu bedauern hat, dafs Configliachi nicht die näheren Umstände seines dabei befolgten Verfahrens angegeben hat. Nur der einzige Gardini will bei dem oben erwähnten Zitterrochen, der auf einem Isolirbreite lag, indem er ihm jene heftige Erschütterung ertheilte, einen wirklichen Funken gesehen, und das ihn begleitende Knistern gehört haben, und mit ihm auch die andern Anwesenden. Es ist indefs nicht näher angegeben, an welcher Stelle der Funke zum Vorschein kam, und welche Vorrichtungen gemacht wurden, um ihn wahrnehmen zu können, und so bleibt diese isolirt dastehende Beobachtung höchst problematisch. Diese auch durch die kleinste Unterbrechung des Leitungskreises durch einen Nichtleiter schon eintretende Hemmung des Durchganges des hierbei thätigen el. Fluidums stimmt auch mit einem Versuche Gay-Lüssac's und v. Humboldt's überein, welchem zufolge auch die Lichtflamme die Durchleitung der Erschütterung unterbricht, wenn z. B. zwei Personen, die zwischen ihren rechten Händen den Zitterrochen hielten, statt sich die linke Hand zu geben, zwei Metallstäbe in eine Lichtflamme steckten. Dagegen wurde die Erschütterung sogleich empfunden, wenn unter denselben Umständen die Stäbe nur in einen Wassertropfen eingetaucht waren. Auch anderweitige unzweifelhafte

1 a. a. O. S. 654.

Erscheinungen von Elektricität und namentlich von freier Spannung, von el. Polen u. s. w. haben bis jetzt auf keine Weise beim Zitterrochen wahrgenommen werden können, namentlich keine Anziehungen oder Abstofsungen auch nicht der leichtesten Körperchen, keine Wirkung auf die empfindlichsten Elektrometer, auch nicht mit Hülfe der besten Condensatoren, keine Ladung von Flaschen oder Batterien, in welcher Hinsicht schon die frühern Versuche von Walsh, Ingenhousz und Spallanzani einen negativen Ausschlag gaben, die neuesten Versuche Gay-Lussac's und Humboldt's, vorzüglich aber Configliachi's ganz entscheidend sind. Letzterer hat sich besonders bemüht, die Elektricität in dem Augenblicke, wo der Fisch die Erschütterung mittheilt, im Condensator aufzusammeln, indem er richtig bemerkt, dafs die el. Organe im gewöhnlichen Zustande des Fisches ohne freie Elektricität sind, und die Elektricität erst in dem Augenblicke, wo der Fisch durch irgend einen besondern Mechanismus diese Organe in Thätigkeit setzt, dargeboten werde. Er veranlafste daher den Zitterrochen durch Stechen, Reizen und Drücken zu Entladungen, aber auch in diesem Falle zeigte der Condensator keine Spur von ihm mitgetheilter Elektricität.

Nach allem diesen ist es daher nur durch ein gänzliches Mifsverstehen gewisser Aeufserungen der oft citirten Schriftsteller begreiflich, wenn Kühn[1] anführt, der Krampfrochen besitze nach Walsh zwei Oberflächen, welche sich wie bei der Leidner Flasche in dem Zustande entgegengesetzter Elektricitäten befinden, sein Rücken habe + E und sein Bauch — E, ferner es ziehe dieser Fisch leichte Körper an und stofse sie wieder zurück, auch könne man einen el. Funken bei ihm wahrnehmen, welche Entdeckung Walsh gleichfalls bei dem Krampfrochen gemacht habe, in welcher letzteren Hinsicht das Octoberstück des Journal de Physique vom Jahre 1776 citirt wird, wo jedoch nicht von einem Funken des *Zitterrochens*, sondern des *Zitteraals* die Rede ist. Ritter hat sich ohne Zweifel durch Kühn, dessen Schrift er citirt, gleichfalls verführen lassen, den gleichen Irrthum zu wiederholen, wenn er sagt: Walsh sah den Krampfrochen leichte Körperchen anziehen und abstofsen, und fand, dafs sein Rücken + E und sein Bauch — E

1 Geschichte der medicinischen und physischen Elektricität 1785. II. 40. 41.

habe. WALSH hat aber in der That nichts von alle dem beobachtet, sondern nur nach gewissen Analogieen des Verhaltens der beiden Oberflächen der el. Organe des Zitterrochens mit den Belegungen einer Leidner Flasche als Hypothese aufgestellt, daſs sie in einem gleichen entgegengesetzten el. Zustande sich befinden möchten. Nur der einzige BERTHOLLET führt an [1]: „daſs eine an einem seidenen Faden hängende Kugel ihm zwischen zwei eisernen Drähten, die mit dem Rücken und Bauche des Fisches communicirten, hin und her zu spielen geschienen habe;" aber nur während der Zeit der Entladung des Fisches, ein höchst feiner und schwieriger Versuch, wie er hinzufügt, auch redet er von mehreren sonstigen mit dem Zitterrochen von ihm angestellten Versuchen, von denen er in einem andern Werke handeln werde. Da er indeſs nichts weiter davon bekannt gemacht, auch zu dem an ihn gerichteten Aufsatze HUMBOLDT's und GAY LÜSSAC's, in welchem alle Anziehungen und Abstoſsungen leichter Körperchen durch den Krampfrochen geleugnet werden, keine weitere Anmerkung hinzugefügt hat, so ist nicht zu bezweifeln, daſs er selbst in seine frühere Beobachtung kein Vertrauen mehr gesetzt habe.

Die Erfahrung GALVANI's, daſs, wenn man präparirte Froschschenkel so wie auch Froschherzen auf den Rücken eines Zitterrochens legt, in dem Augenblicke, daſs dieser die Erschütterung mittheilt, jene in Zuckungen gerathen, ist noch das einzige einigermaſsen hieher gehörige weitere Zeichen von der el. Natur des hierbei thätigen Princips, und um desto mehr, da auch darin eine vollkommene Uebereinstimmung mit dem Verhalten der gewöhnlichen E. statt findet, daſs durch jene Entladung eben so wie bei einem gewöhnlichen el. Funken oder einem schwachen el. Strome die Muskeln im Augenblicke der Entladung (nämlich der Mittheilung der Erschütterung), das Herz dagegen erst einige Augenblicke nachher, und bei schwächeren Entladungen, so wie durch einen schwächeren el. Strom nur die willkürlichen Muskeln, das Herz dagegen nicht in Bewegung gesetzt werden.

Zum Schlusse dieser, die el. Natur des Vorganges betreffenden, Verhandlungen bemerke ich noch, daſs ohne Zweifel,

---

1 De l'Électricité du Corps humain dans l'état de santé et de maladie. Tome I. Paris 1786. 8. p. 173.

(wie auch Ritter[1] vorgeschlagen hat) die einzige sichere Methode, Zeichen von freier el. Spannung zu erhalten, darin bestehen würde, den Zitterrochen sich in el. Batterieen von groſser Capacität entladen zu lassen, indem man seinen Bauch in eine gute leitende Verbindung mit der äuſsern Belegung, und die innere Belegung durch einen Draht in eine nur augenblickliche oder wenigstens schnell vorübergehende Berührung mit dem Rücken brächte, indem man den Fisch zu gleicher Zeit zur Ertheilung des Schlages reizte. Ohne Zweifel würde die Batterie dann zu einer wahrscheinlich höchst schwachen Spannung geladen werden, die man durch Hülfe des Condensators merklich machen könnte.

Bei der Ertheilung der Erschütterungen verhält sich der Fisch auf keine Weise bloſs passiv, so daſs er gleichsam in seinen el. Organen nur eine geladene el. Batterie oder Volta'sche Säule darstellte, die man beliebig entladen könnte, sondern er ist auf eine sehr auffallende Weise activ, und dieses leitet uns noch zur Betrachtung des Verhältnisses, in welchem diese Erscheinungen mit der Willkür des Thiers und mit seiner Lebenskraft überhaupt stehen.

Man erhält vom Zitterrochen nicht immer einen Schlag, wenn man ihn berührt, selbst nicht wenn man ihn mit beiden Händen am Rücken und Bauche zugleich anfaſst, wie kraftvoll er auch sey. Man muſs ihn reizen, damit er den Schlag ertheile, und diese Wirkung hängt ganz von seiner Willkür ab. Darin stimmen alle Beobachter mit einander überein, von Réaumür an, der auf eine sehr unterhaltende Weise erzählt, wie er von seinem Zitterrochen getäuscht worden sey, so daſs er an ihm verzweifelte, daſs er Schläge ertheilen könne, da er ihn längere Zeit unter dem Wasser auf allerhand Weise mit seinen Händen manipulirt habe, ohne etwas zu empfinden, dann aber plötzlich einen äuſserst heftigen Schlag erhielt, bis zu den neuesten Beobachtern Gay-Lüssac, v. Humboldt und Todd, welcher letztere noch bemerkt, daſs sonst lebhafte Zitterrochen selbst eine starke Reizung erleiden konnten, ohne einen Schlag zu ertheilen. Auch konnten sich die Fische, wenn man sie in den Händen hielt, mit sichtbarer Anstrengung ihrer Muskelthätigkeit drehen und wenden, und wenn sie sich auch nicht

---

1 a. a. O. S. 649.

losmachen konnten, doch einen Schlag geben. Dieses willkürliche Entladen der el. Organe deutet unmittelbar darauf hin, daſs der Fisch durch einen Act seiner Willkür und die dabei thätige Lebenskraft in den el. Organen irgend eine Veränderung hervorbringe, wodurch sie augenblicklich erst geladen, oder wenn auch vorher geladen doch nur durch einen besonderen Mechanismus entladen werden. Ueber die einer solchen Entladung vorangehenden oder dieselbe begleitenden anderweitigen sichtbaren Veränderungen in den verschiedenen Theilen des Körpers, die hierüber weiteren Aufschluſs geben konnten, findet indeſs keine vollkommene Uebereinstimmung unter den Schriftstellern statt. Réaumür will beobachtet haben, daſs jedesmal, so oft der Rochen den Schlag ertheile, er den natürlich etwas gewölbten Rücken platt und selbst etwas concav mache, und daſs er in diesem Augenblick den Schlag ertheile, wobei dann der Rücken, ohne daſs man dieses Zurückkehren selbst beobachten könne, seine vorige convexe Oberfläche wieder angenommen habe. Diese wichtige Beobachtung ist leider von den späteren Forschern gar nicht berücksichtigt, und in sofern auch nicht bestätigt worden, indeſs verdient sie bei dem bekannten feinen Beobachtungsgeiste Réaumür's doch auch jetzt noch alle Beachtung. Walsh wollte jedesmal bei Ertheilung des Schlages ein Zurückziehen der Augen, und auſserdem noch eine leichte vorübergehende Agitation in den Knorpeln, von welchen die el. Organe umgeben sind, beobachtet haben. Spallanzini fand jene Bewegung der Augen so wenig constant, daſs sie ihm zufolge meist unbeweglich blieben, und manchmal sogar hervortraten; auch anderweitige Bewegungen des Körpers konnte er nicht bemerken, dagegen wollen Gay-Lüssac und v. Humboldt bemerkt haben, daſs der Zitterrochen die Brustflossen convulsivisch bewegte, so oft er seinen Schlag gab, wodurch im Grunde Réaumür's frühere Beobachtung bestätigt wird, indem nach Todd's Bemerkung durch jede stärkere Bewegung des halbmondförmigen Knorpels der Brustflossen das el. Organ zusammengedrückt werden müsse, auch ein Muskelapparat die vordere Seite dieser Knorpel mit einem Fortsatze an der Vorderseite der Hirnschale verbinde, wodurch die Thätigkeit der el. Organe befördert zu werden scheine. Nach Todd war die el. Entladung im Allgemeinen von einer Muskelanstrengung begleitet. Dieses zeigte sich deutlich durch das Anschwellen der

obern Fläche der el. Organe, vorzüglich an der vordern, dem Schädel gegenüberstehenden Seite, und das Zurückziehen der Augen, woraus Todd, wenn ein anderer den Fisch hielt, mit ziemlicher Sicherheit das Eintreten der Explosion voraussagen konnte; doch täuschte er sich bisweilen, indem er selbst Schläge erhielt (zumal wenn das Thier schon geschwächt war) ohne die Muskelthätigkeit voraus bemerkt zu haben.

Das Thier, das willkürlich die Schläge ertheilt, kann mit bewunderungswürdiger Schnelligkeit seine Organe stets wieder von neuem laden, da es im Stande ist, eine lange Reihe von Schlägen mit gleicher Stärke zu ertheilen. Die Stärke der Schläge steht im Allgemeinen in geradem Verhältnisse mit der übrigen Kräftigkeit und Lebendigkeit des Rochens, doch können auch schwächere Thiere durch stärkere Reizung zur Ertheilung sehr starker Schläge gebracht werden. Die Schläge nehmen einen andern Charakter an, wenn der Fisch sehr schwach wird und sein Tod herannaht. Kurze Zeit vor demselben ertheilte er nach Spallanzani's Beobachtung nicht mehr in Zwischenräumen Schläge, sondern ununterbrochen auf einander folgende leichtere Schläge, ähnlich solchen, die man erhalten würde, wenn man ein klopfendes Herz zwischen seinen Fingern hielte, nur verbunden mit einer unangenehmen Empfindung, die jedoch sich nicht über die Finger hinaus erstreckte. Dieses dauerte 7 Minuten, während welcher Zeit Spallanzani 316 solcher leichter Schläge empfand, worauf dann wieder einzelne in längeren Zwischenräumen 2 bis 3 Minuten bis zum gänzlichen Tode erfolgten. Eine gleiche Beobachtung machte auch Todd mit der Bemerkung, dafs die zuletzt unwillkürlich so schnell auf einander folgenden Entladungen (gleich dem Sehnenhüpfen der Sterbenden) ein blofses Prickeln in ihm hervorbrachte. Auch in dem vom Thiere abgesonderten Organe bemerkte Spallanzani schwache Stöfse, wenn er aber die Haut von dem oberen Theile des Organs abzog, so verloren sie sich fast gänzlich. Wenn er starken lebhaften Rochen ihre Organe ausrifs, so hörten die Stöfse sogleich auf, und unter dem Druck der Hand auf dieselben fühlte man blofs eine schwache zitternde Bewegung, die sich endlich in eine leise Palpitation verwandelte. Die Thiere lebten indefs fort, gaben aber keine Erschütterung mehr, oft auch dann nicht, wenn nur eines dieser Organe von ihnen getrennt war, doch fand hiervon zuweilen auch das Gegentheil statt.

Dafs die Einwirkung der Lebenskraft und insbesondere der Willkür auf die Ertheilung der Erschütterungen und folglich auf den hierbei zum Grunde liegenden el. Vorgang durch die zu den Organen gehenden Nerven wesentlich vermittelt werde, konnte schon zum voraus aus der ungemeinen Gröfse derselben vermuthet werden, ist aber durch directe Versuche aufser allen Zweifel gesetzt. Schon Spallanzani fand, dafs wenn blofs die drei Nerven des el. Organs durchschnitten werden, die Erschütterungen sogleich aufhören, und nur die oben erwähnte zitternde Bewegung übrig bleibt. Dasselbe bewiesen noch deutlicher die von Galvani angestellten Versuche. Nach abgeschnittenem Kopfe ertheilten beide Organe keine weitere Erschütterungen. Wurde dagegen das Herz ausgerissen, so verlor das Thier nicht das Vermögen, Erschütterungen zu ertheilen. Das Durchschneiden oder ein starker Druck auf die zu dem el. Organe gehenden Nerven hob dagegen dieses Vermögen gänzlich auf, wenn gleich das Thier sonst kräftiges Leben zeigte. Todd fand gleichfalls in wiederholten Versuchen, dafs nach Durchschneidung der zu den el. Organen gehenden Nerven alles Vermögen Erschütterungen zu geben verschwunden war, ungeachtet das Thier an sonstiger Lebendigkeit gar nichts verloren hatte, ja, was besonders entscheidend für die Abhängigkeit dieser Schläge von der Lebenskraft des Thieres ist, länger kräftig blieb, und unter denselben Umständen länger fortlebte, als andere Individuen, an denen jene Operation nicht vorgenommen war, denen man aber durch Berührung und Reizung häufige Schläge entlockte, wodurch sie sichtlich geschwächt und ihr Tod beschleunigt wurde. War nur ein einzelner Nervenast, oder hatte man nur die Nerven auf der einen Seite durchschnitten, so dauerte das Vermögen, el. Schläge zu ertheilen, wie es schien, ungeschwächt fort. Es wurde ein Draht durch das Gehirn eines sehr lebhaften Zitterrochens geführt, darauf hörte alle Bewegung auf, und keine Reizung konnte die el. Schläge erregen.

Alles was bis jetzt vom Zitterrochen angeführt worden ist, gilt auf gleiche Weise auch vom Zitteraal, nur mit der Verschiedenheit, welche die viel ausgedehnteren el. Organe und die davon abhängige gröfsere Energie seiner el. Kraft mit sich bringt. Bei ihm sind die Schläge noch weit mehr den starken Erschütterungen einer Leidner Flasche oder Batterie zu vergleichen. Die der gröfseren Zitteraale (welche eine Länge bis 6 Fufs erreichen)

sind so heftig, dafs sie nach v. Humboldt's [1] Zeugnifs selbst in wenigen Minuten Pferde zu tödten im Stande sind. Der Aal längs dem Bauche des Pferdes hingleitend, trifft alle edleren Theile, und besonders die grofsen Nervengeflechte im Bauche. Das betäubte Pferd stürzt zu Boden und erstickt, weil es zu lange in seiner Lethargie unter dem Wasser verweilt. Ein junger Neger, der einen solchen Aal anfafste, soll nach Flagg gelähmt worden seyn und Bryant fühlte die Erschütterung nicht blofs durch Hände und Arme, sondern durch den ganzen Leib und am meisten in der Stirne und in dem Dickbeine. Fahlberg vergleicht die Stärke der Erschütterung unter dem Wasser mit derjenigen einer Leidner Flasche von 70 Quadratzoll Belegung, die auf 10 bis 15 Grad nach Adams's Quadranten-Elektrometer geladen ist, und in der Luft mit einer noch einmal so starken.

Man kann hiernach auch erwarten, dafs der Wirkungskreis des Zitteraals viel ausgedehnter als derjenige des Torpedo ist, und dafs die el. Entladung noch da durchbricht, wo die des Zitterrochens aufgehalten wird. Wirklich ist beim Zitteraale unmittelbare Berührung nach Williamson und Fahlberg nicht nöthig, sondern der Schlag wird schon empfunden, wenn man sich demselben mit der Hand unter dem Wasser nur nähert. Dieses zeigt sich besonders auch, wenn der Aal die kleinen Fische, die ihm zur Nahrung dienen, durch el. Schläge, die er ihnen ertheilt, vorher betäubt, wobei er sich ihnen nähert, aber schon aus der Ferne auf sie den verderblichen Schlag losschiefst, dessen Stärke er nach einem ihm eigenthümlichen nie täuschenden Gefühle, wie Fahlenberg bemerkt, nach der Entfernung und also der Dicke der Wasserschicht jedesmal richtig abmifst. Williamson empfand lebhafte Erschütterungen, wenn er seine Hand, ohne den Aal zu berühren, zwischen diesen und die kleinen Fische hielt, auf welche der Aal aus einer Entfernung von 10 bis 15 Fufs seine Schläge losschleuderte, und sie dadurch vollkommen betäubte. Es wird durch diese Erfahrung v. Humboldt's Behauptung widerlegt, dafs auch beim Zitteraal wie beim Zitterrochen unmittelbare Berührung nöthig sey und auch die kleinste Wasserschicht die Mittheilung des Schlages hindere.

---

1 Jagd und Kampf der elektrischen Aale mit Pferden in G. XXV. 34.

Auch beim Zitteraal ist eine gewisse Beziehung auf zwei Pole oder Stellen, von welchen die Kraft vorzüglich ausgeht, und welche, wie wir weiter unten sehen werden, als entgegengesetzt el. zu betrachten sind, nicht ganz zu verkennen, wenn gleich nicht so deutlich bezeichnet. Diese Pole beziehen sich aber hier nicht wie beim Rochen auf den Rücken und Bauch, sondern, wie sich auch schon nach der Analogie der Structur ergeben würde, auf das Vorder- oder Kopf- und auf das Schwanz-Ende. Wurde nach Fahlenberg der Fisch nur mit einer Hand berührt, so gab er einen Schlag, welcher der Wirkung des in einer Flasche nach der ersten Entladung noch vorhandenen Residuums gleich kam. Die Empfindung war etwas stärker, wenn man mit der einen Hand den Fisch an dem Halse, und mit der andern am Schwanze faſste. Dasselbe fand auch Williamson, der den Unterschied zwischen der Empfindung in beiden Fällen noch viel auffallender angiebt, indem ihm zufolge die Berührung mit einer einzigen Hand nur die Empfindung eines einfachen el. Funkens verursachte. Auch v. Humboldt bemerkt, daſs, wenn die Schläge des Zitteraals schwächer und mehr gleichförmig wurden, wie bei verwundeten Thieren, wo man die Unterschiede an Stärke der Schläge nach Verschiedenheit der Umstände leichter unterscheiden kann, er jedesmal stärkere Schläge erhalten habe, wenn er den Fisch mit zwei Händen (also doch auch mit der einen näher am Kopfe, mit der andern näher am Schwanze), als wenn er ihn nur mit einer einzigen Hand berührt habe, stärker auch wenn statt mit der Hand mit einem Metalle, und zwar stärker bei der Bewaffnung der Hand mit Zink als mit Kupfer. Auf eine besonders auffallende Art gelangen aber bei diesem Fische die Versuche über die durch eine ganze Reihe von Personen durchgeleitete Erschütterung, wenn diese sich einander mit nassen Händen anfaſsten, oder durch Leiter der Elektricität mit einander verbunden waren, während die beiden Aeuſsersten der Reihe den Fisch unmittelbar oder auch nur mittelbar berührten. Schon J. Walsh trieb diese Versuche so weit, daſs der Schlag durch 27 Personen geleitet wurde, Williamson durch eine Reihe von 8 bis 10 Personen, wo die Erschütterung gleichfalls am stärksten war, wenn von den beiden äuſsersten Personen die eine den Fisch am Schwanze, die andere am Kopfe berührte, Fahlenberg fand die Erschütterung am stärksten, wenn der Fisch von denen an den beiden Enden

der geschlossenen Kette stehenden Personen mit einem silbernen oder messingenen Leiter an den Brustflossen berührt wurde, am schwächsten dagegen, wenn nur die eine von diesen den Fisch, die andere das Wasser berührte. Wie stark die el. Kraft des Zitteraals und wie ausgedehnt der Wirkungskreis derselben sey, ergiebt sich besonders aus einer Beobachtung Flagg's, daſs, als einmal der Aal aus dem Wassergefäſse gekommen war, und er ihn mit einem Stücke Tannenholz von 18 Zoll Länge aufzuheben versuchte, er doch so starke und wiederholte Schläge erhielt, daſs der Schmerz davon im Arme längere Zeit nicht wieder vergehen wollte, noch mehr aber aus der merkwürdigen Beobachtung Williamson's, daſs, als ein feines Loch in das hölzerne Gefäſs, in welchem sich der Fisch befand, gebohrt wurde, eine Person in ihrem Finger, welcher sich in dem Strome des ausflieſsenden Wassers befand, einen Schlag verspürte in dem Augenblicke, daſs eine andere Person, mit welcher jene nicht in Verbindung stand, den Schlag von dem Fische, der dazu gereizt wurde, erhielt. Bei dem Zitteraale ist bei Anstellung dieser Versuche *zuerst* der el. Funke wahrgenommen worden, und zwar von John Walsh, nachdem schon Williamson zwar keine Funken bemerkt, aber sich doch überzeugt hatte, daſs die Erschütterung noch durchgeleitet wurde, wenn die Enden zweier Messingdrähte nur um 0,01 eines Zolles von einander standen. Ueber den Versuch von Walsh findet sich, wie schon oben bemerkt ist, keine Mittheilung von ihm selbst, sondern wir haben nur Angaben von andern Physikern, die Augenzeugen des Versuchs gewesen waren, und die versichern, die Erschütterung des Zitteraals sey von einem so sichtbaren Funken begleitet gewesen, als die Entladung einer Leidner Flasche. Später hat Fahlenberg die Beobachtung von Walsh vollkommen bestätigt. Befand sich der Fisch unter Wasser, so konnte er keinen Funken erhalten. Nachdem aber der Fisch aus dem Wasser genommen war, so wurde das el. Licht sichtbar, als durch die Hände zweier Personen oder durch andere Leiter beide Enden eines auf Glas befestigten und durch einen kleinen Zwischenraum unterbrochenen Staniolstreifens mit dem Fische in Berührung gebracht waren. Dagegen soll nach v. Humboldt die Lichtflamme die Fortleitung des Schlags des Zitteraals isoliren. Auch ist es sehr bemerkenswerth, daſs nach Flagg's Beobachtung ein Frauenzimmer von etwas schwindsüchtiger Beschaffenheit den

Zitteraal berühren und behandeln konnte, ohne einen Schlag dadurch zu empfinden, gerade so wie man einzelne Fälle von Unempfindlichkeit für den Schlag einer Leidner Flasche beobachtet haben will. Trotz dieser Beweise einer so starken el. Kraft konnte man doch auch beim Zitteraal bis jetzt keine Spur freier el. Spannung, keine Anziehung oder Abstofsung leichter Körperchen durch dieselbe, keine Wirkung aufs Elektrometer selbst nicht mit Hülfe des Condensators, keine Ladung einer Leidner Flasche auch nur zum schwächsten noch durch Hülfe dieser Instrumente bemerkbaren Grade erhalten.

Auch für den Zitteraal gilt es, dafs die Ertheilung der Erschütterungen ein Act der Willkür ist, und dafs sein el. Vermögen in dem innigsten Zusammenhange mit der Lebenskraft steht. Der Zitteraal ertheilt seine Schläge und richtet die Stärke derselben ganz nach den Umständen ein, um seinen Zweck zu erreichen. Ja er scheint selbst nach John Walsh und den späteren Beobachtungen von Fahlenberg einen eigenen feinen Sinn für das Verhältnifs der Umstände zur Möglichkeit der Ertheilung der Schläge zu besitzen, ob nämlich die Körper, die sich ihm nähern, solche sind, die den Stofs empfangen können, d. i. Leiter oder Isolatoren, denn in dem ersten Falle ertheilt er den Stofs, in dem zweiten nicht. Diese merkwürdige Eigenschaft zu zeigen stellte Walsh mehrere Versuche an, von denen der überzeugendste folgender war. Zwei Drähte wurden mit ihrren Enden in ein Gefäfs mit Wasser gelegt, in dem der Fisch sich befand, sodann umgebogen, und eine grofse Strecke fortgeführt, endlich endigten sie sich in zwei besondere mit Wasser gefüllte Gefäfse. Die Drähte wurden in einer beträchtlichen Entfernung von einander durch Nichtleiter getragen. So lange die beiden Wassergefäfse nicht durch einen Leiter mit einander verbunden waren, war der Leitungskreis nicht vollkommen, was aber eintrat, sobald eine Person die Finger der einen Hand in das eine, und die der andern Hand in das andere Gefäfs tauchte. Nun bemerkte man beständig, dafs das Thier, wenn die oben beschriebene Verbindung unterbrochen war, den Enden der Drähte sich nie absichtlich näherte, sobald aber die Verbindung durch eine Person oder sonst durch einen Leiter wieder hergestellt wurde, so kam das Thier augenblicklich zu den Drähten heran, und ertheilte den Stofs, wenn es gleich nicht sehen konnte, dafs die Verbindung wieder ergänzt worden war. Die-

ser letztere Umstand des Heranschwimmens an die Drahtenden beweiset, daſs die Ertheilung des Schlages hier nicht nach einem bloſsen physischen Gesetze auf eine nothwendige Weise erfolgen muſste, sondern daſs die Willkür des Thiers daran Theil hatte, was zugleich eine Empfindung des veränderten Leitungsverhältnisses durch eine ganz eigenthümliche Modification des Gefühls voraussetzt. Die Ertheilung der Schläge durch den Zitteraal ist übrigens unabhängig von jeder anderweitigen sichtbaren Muskelbewegung; auch sind die stärksten Muskelbewegungen des Gymnotus eben nicht von erschütternden Explosionen begleitet. v. Humboldt hatte den Zitteraal oft in Händen gehabt, und indem er sich convulsivisch krümmte, um sich ihm zu entwinden, fühlte er keine Entladung. Dasselbe Individuum gab wenige Minuten darauf die heftigsten Schläge, ohne die äuſsere Lage seines Körpers zu verändern[1]. So wie beim Zitterrochen nimmt auch beim Zitteraal mit herannahendem Tode die Stärke der Schläge ab, und aus dem Organe des todten Fisches lieſs sich nach Fahlenberg auf keine Weise auch nur die geringste el. Erschütterung entlocken.

Dr. Schilling, Arzt der Colonie zu Surinam, hatte, wie schon oben bemerkt, der Berliner Akademie der Wissenschaften Nachrichten von einigen Versuchen gegeben, welche auf ein *besonderes magnetisches Verhältniſs* des Zitteraals, und daher eine Uebereinstimmung ihres Agens mit dem magnetischen hinzudeuten schienen. Bei der Annäherung eines armirten Magnets ward der Angabe Schilling's zufolge der Fisch zuerst unruhig, und bei der Berührung mit demselben stark erschüttert. Legte man den Magnet ins Wasser, so ward der Fisch nach einiger Zeit ganz still, und kam von selbst an den Magnet heran, als wenn er von dem umgebenden Wasser angezogen und zurückgehalten würde. Nach einer halben Stunde zog er sich sehr geschwächt vom Magnete wieder zurück, hatte aber alle Erschütterungskraft verloren, so daſs man ihn ohne Schaden berühren und in die Hände nehmen konnte. Die beiden Pole des Magnetes schienen wie mit Feilspähnen überzogen (!). Der Fisch erlangte einige Kraft wieder, nachdem man ihn ein paar Tage mit Brod gefüttert hatte, als man aber Eisenfeilicht ins Wasser warf, kehrte sein voriges Vermögen in seiner ganzen

---

1 G. XXII. 5.

Stärke zurück. Eine Magnetnadel sollte in der Nachbarschaft des Zitteraals völlig in Unordnung gekommen seyn. So viel Interesse diese Beobachtungen bei ihrer ersten Bekanntmachung auch einflöfsten, indem man namentlich hierin einen Hauptbeweis für die Uebereinstimmung der Elektricität mit dem Magnetismus zu erkennen glaubte, und so sehr in unsern Tagen nach der Entdeckung des Elektromagnetismus dieses Interesse sich erneuern mufste, so verloren sie doch in dieser Hinsicht allen Werth, da sie von späteren Beobachtern bei Wiederholung mit den besten Apparaten und mit der gröfsten Sorgfalt als ganz unrichtig befunden wurden, so dafs man kaum daran zweifeln kann, Schilling habe der gelehrten Welt etwas aufbinden wollen. Dr. Ingenhousz untersuchte namentlich die Sache in London 1777 an den Fischen, welche J. Walsh auf seine Kosten von Surinam hatte kommen lassen. Er ging in Gesellschaft des Dr. Beerenbroek mit mehreren Magnetnadeln und starken Magnetstäben von Knight versehen dahin, fand aber den Fisch gegen allen magnetischen Einflufs schlechterdings unempfindlich. Das Thier unterschied den Magnetstab nicht im geringsten von einem andern Stücke Metall und gab einem Menschen, der beide Hände, eine beim Kopfe, die andere beim Schwanze des Fisches ins Wasser hielt, einen starken Schlag, obgleich ein starker Magnetstab untergehalten ward. Auch brachte er die Magnetnadel nicht im mindesten in Unordnung. Walsh versicherte gleichfalls, Schilling's Versuche auf das sorgfältigste geprüft, aber nie einen Einflufs des Magnets auf den Fisch, oder dieses auf jenen bemerkt zu haben [1]. Eben so wenig konnte v. Humboldt in sehr oft wiederholten Versuchen die geringste Wirkung der Magnete auf den Zitteraal, oder des letzteren auf Magnetnadeln wahrnehmen, so wie dann auch Eisenfeilicht auf den Rücken desselben gestreut unbeweglich blieb [2]. Auch auf den Zitterrochen äufserte nach Spallanzani's Versuchen, ein starker Magnet, der 25 Pfund zog, nicht den geringsten Einflufs. Dagegen wäre wohl durch künftige Versuche auszumitteln, ob nicht in dem Augenblicke, dafs der Zitteraal oder Zitterrochen seine Schläge ertheilt, eine in der Nähe

---

1 Ingenhousz vermischte Schriften übersetzt von Molitor. Wien. S. 273.

2 Ann. de Ch. XI. 435.

befindliche Magnetnadel afficirt wird, und zwar nach denselben Gesetzen, nach denen der Strom der Volta'schen Säule dieselbe in Bewegung setzt.

Vom *Zitterwels* fehlen alle genauere Beobachtungen in Betreff der von ihm ertheilten Erschütterungen und nur Adanson's oben mitgetheilte Notitz, da sie sich ohne allen Zweifel auf diese Gattung bezieht, läſst annehmen, daſs im wesentlichen sich hier alles eben so verhalten werde.

Von *Tetrodon electricus* hat man bloſs die einzige Beobachtung des englischen Schifflieutenants Patterson, der zwei derselben in einem Netze fing, und da er den einen angreifen wollte, einen so heftigen el. Schlag bekam, daſs er ihn loslassen muſste.

Vom *Trichiurus indicus* fehlen alle sein Erschütterungsvermögen betreffende Beobachtungen.

IV. Theoretische Betrachtungen.

So lange die el. Natur des Agens, von welchem die Erschütterungen dieser el. Fische abhängen, unbekannt war, konnten nur irrige Erklärungen des Vorganges gegeben werden. Die Meinungen jener Naturforscher, welche wie Lorenzini, Perrault u. a. gewisse betäubende Theilchen (*particulae torporificae*) annahmen, die zu allen Zeiten aus dem Körper des Zitterrochens, aber in dem Zeitpuncte, wo er seine Erschütterung mittheilte, in gröſserer Menge ausströmten, wurden schon von Réaumür gründlich widerlegt, selbst durch die Hinweisung auf das einzige Factum, daſs man keine Erschütterung fühle, wenn man auch nur durch eine dünne Wasserschicht von dem Fische getrennt sey, während diese Erschütterung doch bei der Berührung desselben mit einem Stocke mitgetheilt werde. Réaumür hatte geglaubt, in jener oben von ihm angeführten interessanten Beobachtung den Schlüssel zum ganzen Mechanismus, auf welchem jene so eigenthümlichen Erschütterungen beruhen, gefunden zu haben. Er vergleicht nämlich den ganzen Vorgang mit dem einer gespannten Feder, welche plötzlich losschnappe. Die Rolle der zu spannenden Feder wies er den Säulen oder Cylindern der el. Organe an, durch die Abplattung des Rükkens sollen nämlich die Basen der Organe gleichsam breiter, die kleinen Zwischenlamellen der Cylinder ausgedehnt und gespannt

werden; hat diese Ausdehnung und damit gegebene Spannung ein gewisses Maximum erreicht, und die Zusammenziehung des Rückens, die durch den Fisch willkürlich hervorgebracht worden ist, läſst nach, so dehnen sich die Längenfasern, aus denen die Seitenwände der Cylinder bestehen, wieder aus, die Querhäute verkürzen sich, und jede derselben, durch die Längenfasern aufwärts gezogen, treibt die eiweiſsartige Materie, die in den Zellen enthalten ist, in gleicher Richtung aufwärts, und da diese Ausdehnung nicht gleichzeitig in allen geschehen kann, so entstehen dadurch schnell auf einander folgende Stöſse, welche die Nerven erschüttern und betäuben und den eigenthümlichen Schmerz verursachen. So erklärt Réaumür, warum man die heftigen Schläge nur erhalte, wenn man die el. Organe unmittelbar berühre, warum man den Fisch ungestraft am Schwanze anfassen könne, womit sich auch sehr wohl die viel schwächere Erschütterung vereinigen lasse, die man erhalte, wenn man den Fisch in einiger Entfernung von diesen Organen anfasse, weil sich jene Bewegung derselben doch der Haut des Fisches mittheilen, und diese davon erschüttert werden müsse, welche Erschütterung sich dann weiter mittheile. Der Umstand, daſs Réaumür eine, wenn gleich viel schwächere Erschütterung empfand, wenn er den Fisch mit einem Stocke berührte, machte ihn nicht irre in seiner Erklärung, da ja die schnelle Bewegung jener losschnappenden organischen Federn sich auch dem Stabe und durch diesen seiner Hand nur mit verhältniſsmäſsig verminderter Geschwindigkeit mittheilen müsse.

So sinnreich auch diese Erklärung auf dem damaligen Standpuncte der Untersuchung war, so muſste sie doch aufgegeben werden, sobald John Walsh die wahre Ursache der Erschütterung in der Bewegung des el. Fluidums aufgefunden hatte. Indeſs reichte diese allgemeine Andeutung doch nicht hin, sondern es kam zur Rechtfertigung derselben darauf an, die mannigfaltigen Abänderungen der Erscheinungen, vorzüglich der Stärke der Erschütterungen, nach der Verschiedenheit der Umstände mit den bekannten Gesetzen der Elektricität in Uebereinstimmung zu bringen, und gewisse Widersprüche mit einer solchen Erklärung, insbesondere den Mangel gewisser Zeichen freier Elektricität, aller Wirkung auf das Elektrometer, überhaupt aller el. Anziehungs- und Abstoſsungs-Erscheinungen zu beseitigen. Dieses leistete nun besonders Cavendish auf eine un-

gemein scharfsinnige Art in jener oben angeführten Abhandlung, indem er durch eine Reihe von Versuchen zu beweisen suchte, dafs von allen Erscheinungen am Zitterrochen befriedigende Rechenschaft gegeben werden könne, wenn man annehme, dafs seine el. Organe gleich einer el. Batterie von grofser Capacität, die aber nur zu einer sehr schwachen Spannung geladen sey, wirkten. Dieser Ansicht zufolge stellte die eine Fläche der el. Organe gleichsam die eine Belegung und die entgegengesetzte die andere vor, oder es vereinigte sich wenigstens in ihnen im Augenblicke der Mittheilung der Erschütterung die ganze Wirksamkeit, und ging von ihnen eben so aus, wie von den beiden Belegungen einer solchen Batterie. Indem Cavendish erst aus Holz und dann aus mit Salzwasser getränktem Sohlenleder einen künstlichen Zitterrochen sich verfertigen liefs, der die Gestalt des natürlichen hatte, und an den Orten, wo die el. Organe an der obern und untern Fläche sich endigen, Zinnplatten ungefähr von gleicher Gestalt und Gröfse anbringen liefs, so konnte er diesen Flächen den Werth solcher Belegungen einer zu schwacher Spannung geladenenen Batterie von grofser Capacität geben, indem er durch Drähte, die von ihnen ausgingen, und die durch Glasröhren isolirt waren, sie mit den Belegungen einer wirklichen el. Batterie von der angeführten Art in Verbindung setzte, und die wirkliche Entladung der Batterie durch Verbindung jener Drähte mit ihren Belegungen vornahm, wenn er sich auf verschiedene Weise mit dem künstlichen Zitterrochen in Verbindung gesetzt hatte. Diese Versuche wurden theils in der Luft theils unter dem Wasser vorgenommen, und die verschiedene Stärke der Erschütterungen unter den verschiedenen Umständen der unmittelbaren oder mittelbaren Berührung, der einseitigen Berührung mit einer oder mit beiden Händen an der einen oder an beiden Flächen der el. Organe u. s. w. stimmte im Wesentlichen mit denjenigen Verschiedenheiten überein, die an dem Zitterrochen unter den gleichen verschiedenen Umständen wirklich wahrgenommen sind. Das Ganze findet nämlich seine Erklärung darin, dafs, wenn die Verbindung zwischen den beiden Belegungen nicht durch einen vollkommenen Leiter gemacht wird, wie denn der Zitterrochen selbst und jene Kunstgebilde in Cavendish's Versuchen kein solcher sind, der Entladungsstrom sich verbreitet und seinen Weg durch mehrere Canäle nimmt, unter welchen der menschliche Körper, die Hände

desselben u. s. w. wegen ihres vollkommenern Leitungsvermögens mehr aufnehmen, als das Wasser und die eigenen Theile des Thiers selbst.

Sehr genügend gab auch CAVENDISH durch diese Vergleichung Rechenschaft von dem Mangel eines Funkens bei dieser Ertheilung der Erschütterungen durch den Zitterrochen, von der Unmöglichkeit durch eine Kette von mehreren Gelenken die Erschütterung zu entladen, aus der so schwachen Spannung der Elektricität bei aller großen Quantität derselben, da auch bei zu kleiner Spannung geladener Batterien von vielen Flaschen, die darum immer noch im Stande sind, bei unmittelbarer Berührung eine sehr fühlbare Erschütterung zu geben, durch den feinsten Schnitt in eine auf Glas geklebte Zinnfolie u. s. w. die Entladung gehindert werden konnte. Diese Ansicht fand auch den allgemeinsten Beifall und selbst nach der Entdeckung der Volta'schen Säule sind ihr einige Physiker, wie namentlich selbst v. HUMBOLDT noch getreu geblieben, welcher in der Unempfindlichkeit aller Elektrometer für die Einwirkung selbst der kraftvollsten el. Fische einen Beweis finden will, daſs die Wirkungen in ihnen nicht wie in der Volta'schen Säule entstehen, und nicht aus der Theorie dieser erklärt werden können [1]. v. HUMBOLDT übersah, daſs sich eben so wenig eine geladene Leidner Flasche ohne freie el. Spannung wenigstens an der einen Belegung denken lasse, und daſs die Unempfindlichkeit der Elektrometer keine gröſsere Schwierigkeit bei der Erklärung nach den Gesetzen einer Volta'schen Säule mache. GEOFFROY findet sogar in dem Baue der el. Organe, die ihrem Wesen nach aus sehr ausgebreiteten und vielen Sehnenhäuten bestehen, welche zu Zellen gebildet sind, und eine gallert-eiweiſs-artige Flüssigkeit enthalten, einen neuen Beweis für diese Aehnlichkeit mit Batterien oder mit Blitzscheiben, indem sie abwechselnd aus Leitern (den Nerven, und der weichen aus Eiweiſs und Gallerte bestehenden Masse, in die sich die Nerven verbreiten?), und aus Nichtleitern (den sehnigten Blättern, die sich durch diese weiche Masse hinziehen) zusammengesetzt sind. Daſs die Elektricität des Zitterrochens wesentlich von der mechanischen Anordnung dieser idioelektrischen und anelektrischen Elemente abhänge, zeige sich dadurch, daſs man im ganzen dieselben Theile auch bei an-

---

1 G. XXII. 12.

deren Rochen finde, ohne dafs doch letztere dieselben Wirkungen hervorzubringen vermögen, weil nämlich bei ihnen jene sehnigten Blätter fehlen, welche die gallert-eiweifs-artige Flüssigkeit in kleine isolirte Massen theilen, gerade so wie eine el. Batterie oder die Blitzscheibe ihren Zweck nicht erfülleu würde, wenn zwischen den Metallblattern keine Glasscheiben wären[1]. Indefs sieht man leicht, dafs dieses doch nur höchst vage Andeutungen sind, dafs man auf keine Weise in dem Baue der el. Organe nachzuweisen im Stande ist, wie die respectiven, positiven und negativen Seiten der unzähligen kleinen Leidner Flaschen, die man in dem Organe anzunehmen gezwungen wäre, mit einander zu einer gemeinschaftlichen Belegung verbunden sind, und dafs endlich jene sehnigten Häute, die mit Feuchtigkeit durchdrungen sind, auf keine Weise den Dienst zu leisten im Stande seyn würden, die entgegengesetzten Elektricitäten von einander getrennt zu halten, wenn sie nach dem Gesetze der Leidner Flasche vertheilt wären, wo sie nämlich als mit ihrem ganzen Streben durch die Scheidewand hindurch sich mit einander zu verbinden und auszugleichen, behaftet vorausgesetzt werden müfsten. Der Natur sich viel näher anschliefsend erscheint daher die höchst sinnreiche Theorie Volta's, welche dieser grofse Physiker gleich im ersten Anfange, als er seine Entdeckung der Säule den 20. März 1800 an Banks mittheilte, aufstellte, in jenem so merkwürdigen Aufsatze, der von ihm im Nationalinstitute am 21. Nov. 1801 verlesen wurde[2], wiederholte, aber noch ausführlicher in der oben bereits erwähnten Abhandlung vortrug. Die Hauptidee dieser Erklärung ist, dafs die el. Organe wahre elektrische oder Volta'sche Säulen und zwar von der zweiten Ordnung seyen, welche aus blofsen feuchten Leitern bestehen. Die Structur dieser Organe, wie sie sowohl beim Zitterrochen als beim Zitteraal, vorzüglich durch Hunter so schön dargelegt worden ist, entspricht dieser Idee vollkommen. Nach der Analogie der Säule finden sich in beiderlei Organen regelmäfsig abwechselnde Lagen von Leitern verschiedener Art, nämlich die Membranen, welche die Scheidungen bilden und die gallert-eiweifs-artige Flüssigkeit. Legt man nun das Schema der gewöhnlichen Volta'schen Säule zum

---

1 G. XII. 412.

2 G. X. 421. 445—449.

Grunde, welche aus einer sich in derselben Ordnung wiederholenden Reihe von wenigstens drei verschiedenen Leitern oder Erregern der Elektricität besteht, die unter zwei verschiedene Spannungsreihen gehören [1], so muſs angenommen werden, daſs die sehnigten Zwischenhäute aus zwei Lagen bestehen, die das Analogon eines Paars von Metallen, vorstellen, und als die eigentlichen Elektromotoren anzusehen sind, während die gallerteiweiſsartige Flüssigkeit die Rolle des feuchten Leiters übernimmt. Dieses ist auch die Ansicht VOLTA's, wenn er sagt: „Es ist selbst zu vermuthen, daſs in den el. Organen des Krampffisches die kleinen Lagen oder Häutchen, die in jeder Säule eine über der andern liegen, abwechselnd aus Leitern bestehen, die zur zweiten und zur dritten Classe gehören, und so gebauet sind, daſs jede Lage, oder *jedes heterogene Paar* der dritten Classe von dem andern durch einen Leiter zweiter Classe, d. i. durch eine feuchte Lage getrennt wird.“ Daſs die festweichen thierischen Theile und die thierischen Flüssigkeiten nicht *eine* Spannungsreihe bilden, sondern unter *zwei* Classen gebracht werden müssen, für deren jede ein eigenes Spannungsgesetz gilt, erhellet schon daraus, daſs es wirksame galvanische Ketten giebt, welche aus bloſs thierischen Theilen bestehen, in welche kein Erreger der ersten Classe oder sogenannter trockener Erreger eingeht. Da aus allen oben angeführten Erscheinungen hervorgeht, daſs an den el. Organen gewisse Stellen sich befinden, in welchen die Elektricität mehr angehäuft ist, und ohne allen Zweifel einen Gegensatz bildet, so stimmt die Lage dieser Pole auch sehr wohl mit einer solchen Annahme überein, denn in dem Zitterrochen haben die vielen neben einander liegenden kleinen Volta'schen Säulen (die Cylinder oder Prismen der el. Organe) eine in Beziehung auf die Axe des Körpers verticale Lage, und ihre beiden Pole müssen also mit der Ober- und Unterseite (Rücken und Brust) des Fisches zusammenfallen, wie auch wirklich die Beobachtung lehrt, während beim Zitteraal die Säulen der Länge nach liegen, und folglich die Pole an das andere Ende (nach dem Kopf- und Schwanz-Ende hin) fallen müssen, was auch recht gut mit den Beobachtungen an diesem Fische zusammenstimmt. Bei der auſserordentlichen Menge der abwechselnden Lagen läſst sich auch bei noch so geringem elektromotorischen Vermögen jedes einzelnen

1 S. die Artikel: *Galvanismus und Säule, Volta'sche.*

Elements doch eine sehr starke Ladung der el. Säulen und damit eine sehr starke Erschütterung bei der Entladung sehr wohl begreifen. Auch stimmt für diese Ansicht die grofse Uebereinstimmung der Erschütterungen selbst mit denen, welche Volta'sche Säulen ertheilen. Nach Volta's Briefe an Banks[1] giebt eine Säule aus 20 Lagen Erschütterungschläge, die denen eines äufserst ermatteten Krampfrochens völlig gleichen; aus einer Säule von 60 Lagen kann man stärkere Schläge erhalten, als sie der Krampffisch ertheilt, und so wie dieser heftigere Erschütterungen in der Luft als im Wasser ertheilt, sind auch die Schläge der Säule viel empfindlicher, wenn die Enddrähte in verschiedene Wasserbehälter geleitet, und diese durch den Körper in leitende Verbindung gesetzt werden, als wenn beide Enddrähte mit einem Wasserbehälter communiciren, und man in diesen beide Hände steckt. Ueberhaupt gilt für die Abänderungen der Stärke der Schläge nach der verschiedenen Art, wie man sich mit dem Krampfrochen in Verbindung setzt, alles unbedingt auch hier, was bei der Vergleichung der Entladungen der el. Fische mit denen einer Batterie von grofser Capacität, die nur zu einer schwachen Spannung geladen ist, oben angeführt wurde, da eine Volta'sche Säule vollkommen das Aequivalent einer solchen ist, nur mit dem Unterschiede, dafs sie sich selbst geladen hat, und nach der Entladung wieder von neuem ladet. Indefs würde diese ganze Reduction auf eine Volta'sche Säule völlig ungenügend seyn, wenn nicht zugleich Rechenschaft von dem Einflusse der Willkür, und dafs die Entladungen lediglich von dieser abhängen, gegeben werden könnte, denn es ist bei Vergleichung aller oben angeführten Erscheinungen von selbst einleuchtend, dafs die el. Organe keine an und für sich geladene und nach jeder Entladung sich wieder durch ihren blofsen Mechanismus ladende Säulen seyn können, weil man sonst durch jedesmalige Berührung in einer hinlänglich grofsen Oberfläche stets Erschütterungen erhalten müfste, und durch Communication der Pole der Organe mit einem Condensator oder einer Batterie diese geladen werden, und elektromotorische Wirkungen zum Vorschein kommen müfsten, wovon sich aber gerade das Gegentheil zeigt. Vielmehr müssen erst in dem Augenblicke, in welchem die Fische ihre Erschütterungen mittheilen, die Säu-

1 Phil. Trans. 1800. II. 403.

len geladen und zugleich auch entladen werden, und die freigewordene Elektricität jedesmal auch wieder im Producte aufgehen, weswegen sie eben so wenig auf das Elektrometer und den Condensator wirken kann, als die bei der Entladung einer Flasche durch den Entladungskreis sich ergiefsende Elektricität darauf wirkt. Aber auch dafür hat Volta Rath gewufst. Ihm scheint nämlich der Mechanismus, durch welchen der Krampfrochen Schläge ertheilt, darauf zu beruhen, dafs er einige von einander entfernte Theile seines el. Organs (entweder einzelne Stellen, oder vielleicht die Häute, welche in jeder Säule wie dünne Scheiben über einander liegen) einander nähert, indem er die Säulen zusammendrückt, oder dafs er vielleicht im Augenblicke des Stofses zwischen die Häutchen und Zwischenränder eine Feuchtigkeit fliefsen läfst. Die erstere Annahme würde nun allerdings sehr gut mit der oben näher beschriebenen Réaumürschen Beobachtung des Verhaltens des Fisches bei Ertheilung der Schläge übereinstimmen, indefs widerspricht dieser Erklärung die Erfahrung Configliachi's, dafs auch bei äufserer Zusammendrückung der el. Organe durch Gewichte keine Erschütterungen bewirkt werden können, und was die zweite Annahme betrifft, so steht ihr die Thatsache entgegen, dafs in einem organischen Körper überall keine solche leere Stellen angenommen werden können, und dafs die Stellen der Prismen zu allen Zeiten mit der gallerteiweifsartigen Flüfsigkeit vollkommen erfüllt erscheinen. Auch giebt diese Erklärung keine hinreichende Rechenschaft von der wichtigen und constanten Beziehung, in welcher die Nerven mit den el. Organen und ihrer Thätigkeit stehen, denn dafs dieser Einflufs sich nicht blofs darauf beschränken könne, zur Bildung einer jener Schichten des Paars, aus welchem jene Scheidung besteht, beizutragen, die ohne alle Abhängigkeit von eigentlicher Nervenkraft blofs nach den allgemeinen Gesetzen der galvanisch-elektrischen Wechselwirkung ihre elektromotorische Thätigkeit ausübte, ohngefähr auf dieselbe Art wie in einer Säule, die man aus Muskelfleisch, Nervenmark und einem mit Wasser oder einer Salzauflöfsung getränkten Zwischenleiter aufbauen kann, wird schon dadurch bewiesen, dafs nach Durchschneidung der zu den el. Organen gehenden Nerven, die erschütternde Kraft derselben auch sogleich erloschen ist, ohngeachtet doch in diesem Falle die heterogenen Schichten, welche die el. Organe bilden, unverändert geblieben sind.

Es bleibt unter diesen Verhältnissen nichts anders übrig, als den Nerven selbst den wesentlichsten Antheil an der Erzeugung der Elektricität einzuräumen, und die el. Organe gleichsam nur als die Apparate zu betrachten, welche auf eine secundäre Weise zur Aufnahme und Entladung der ihnen momentan mitgetheilten Elektricität dienen. Eine solche Idee hat auch Ritter in einer lehrreichen Anmerkung zu Volta's letztem Aufsatze [1] über den Krampfrochen geäufsert. Er verspricht daselbst in einer besondern Abhandlung darzuthun, dafs eine jederzeit bestehende Verbindung vieler kleiner Säulchen zum Aequivalente einer grofsplattigen Säule in den Organen der el. Fische Statt finden möge, dafs dieses aber keinesweges primitive Volta'sche Säulen, sondern secundäre von der Art seiner Ladungssäulen seyen und dafs überdies diese Ladungssäulen es nicht selbst seyen, die, sich entladend, die Erschütterung gäben, sondern dafs sie freilich vorher geladen, eigentlich dazu dienten, dafs die nach einer Reizung des Fisches von ihm gelieferte grofse Spannung seiner Nerven, so viel wie möglich nicht im Fische selbst wieder zusammengehe und ferner vielleicht noch, dafs sie dem el. gespannten Nerven während der Schlagertheilung ungefähr eben diese Dienste erwiesen, wie eine el. Batterie von grofser Capacität einer Volta'schen Säule, als welche, nach einmaliger Ladung jener und verbunden mit ihr bleibend, dann viel stärkere Schläge ertheile als ohne eine solche Verbindung. Einen vorläufigen Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht glaubt Ritter in einem von Configliachi mit dem Zitterrochen angestellten Versuche gefunden zu haben. Dieser errichtete nämlich aus den getrennten Organen einiger Zitterrochen, die gar keine Zeichen am Elektrometer gegeben hatten, Säulen, die mehrere Minuten hindurch sehr wirksam waren, wenn sie einige Zeit der Wirkung einer gewöhnlichen Säule aus Zink- oder Kupfer-Platten ausgesetzt wurden, ganz auf dieselbe Art, wie dieses bei den Ritter'schen sogenannten Ladungssäulen eintritt.

Ritter ist indefs jene Abhandlung schuldig geblieben, und ich zweifle sehr, ob der unleugbar statt findende so wichtige Einflufs der Nerven auf die Ertheilung der Erschütterungen und damit also auf die el. Ladung und Entladung der Organe, welche letztere unstreitig wenigstens als die nächste Ursache der Schläge

1 a. a. O. S. 644.

zu betrachten ist, auf dem jetzigen Standpuncte unserer Kenntnifs von der Nervenkraft in einer bestimmten Construction dargelegt werden könne. Alles, was bis jetzt als ausgemacht angesehen werden kann, reducirt sich darauf, dafs der el. Vorgang bei den Zitterfischen mit demjenigen einer Volta'schen Säule am nächsten übereinkommt, dafs aber der einer Volta'schen Säule ganz analoge Apparat nicht ohne weiteres durch die blofse Maschineneinrichtung der el. Organe bedingt ist, und davon nicht unmittelbar die Ladung abhängt, sondern dafs die Ladung und Entladung ein wirklicher Lebensact ist, zunächst bedingt durch den Nerveneinflufs auf die Organe, welcher wirklich den Bedürfnissen des Thiers gemäfs und nach Mafsgabe der Reizung, die dasselbe erleidet, auf diese Organe hin determinirt wird, so dafs stets neue Ladungen und Entladungen von gleicher Stärke eine Zeitlang hindurch erfolgen können, worin sich abermals ein höheres Verhältnifs als das einer durch sich selbst, d. h. die blofse Kraft der elektromotorischen Apparate erneuernden Ladung kund thut, da bei jeder Volta'schen Säule die Erschütterung bei der ersten Schliefsung allezeit stärker ist, als bei schnell wiederholten Schliefsungen oder gar während des fortdauernden Geschlossenseyns. v. Humboldt bemerkt noch, da der Zitteraal sein el. Fluidum (richtiger seinen Schlag) dahin richtet, wohin er will, indem er es z. B. auf die kleinen Fische, die in einer gewissen Entfernung sich von ihm befinden, immer mit Sicherheit gleich einem Blitze schleudert, wie aus der Betäubung derselben erhellet, so müsse man auch zugeben, dafs die Entladung nicht zugleich durch die ganze Haut erfolge, sondern an einer Stelle mehr als an der andern, die vielleicht durch eine vorübergehende Absonderung mit dem Organe in genauere Verbindung gesetzt worden ist. Indefs scheint eine solche Annahme eben nicht nothwendig zu seyn, da derselbe Erfolg auch eintreten mufs, wenn der Zitteraal in einem solchen Falle überhaupt nur eine stärkere Entladung giebt, deren Wirkungskreis sich auch eben damit erweitern und jene Fische u. s. w. in sich aufnehmen mufs, ohne auf sie ihre Richtung im Raume selbst vorzugsweise zu nehmen, wenn gleich dem Willen des Thieres nach nur auf sie abzielend. Wenn irgend mehr Licht über das Tiefere und noch Verborgene, was jenen el. Erscheinungen zum Grunde liegt, sich verbreiten soll, so mufs es von einer genaueren Einsicht in das Wesen der Irritabilität ausgehen, denn

ohne allen Zweifel schliefsen sich die el. Organe am nächsten an die Muskeln an, und die Zukunft ist vielleicht nicht mehr fern, welche über die Richtigkeit des Ausspruches entscheiden wird, dafs so wie die Muskelzusammenziehungen gleichsam nach Innen gehende elektrische Entladungen sind, eben so umgekehrt die Entladungen der el. Fische nach aufsen gerichtete Irritabilitäts-Aeufserungen. In diesem Sinne hat auch Steffens die Sache aufgefafst, ohne jedoch durch die am Ende seiner Abhandlung über die el. Fische hingeworfene mehr zur Physiologie gehörigen Bemerkungen — Fragen vielmehr als Antworten, ein gröfseres Licht verbreitet zu haben [1].

Nachdem dieser Artikel bereits ausgearbeitet war, kam mir erst die Inaugural-Dissertation des F. L. Guisan [2] zu Händen, welche eine Reihe sehr interessanter Versuche beschreibt, die der Vater des Verfassers bereits im Jahre 1789 zu Cayenne mit dem *Zitteraale* angestellt, und nach seiner Rückkehr nach Europa im Jahre 1791 der Akademie der Wissenschaften zu Paris vorgelegt hatte, deren damalige Bekanntmachung aber durch die Revolution verhindert worden war. Die von dem Sohne aus dem Nachlasse des Vaters in jener Dissertation mitgetheilten Erfahrungen sind besonders dadurch interessant, dafs sie noch mehr die Analogie der durch den Zitteraal (und somit durch alle el. Fische) ertheilten Erschütterungen mit denen der Volta'schen Säule und der Modification der Elektricität in beiden Fällen beweisen.

a. Guisan vergleicht die Empfindung von schwächeren Schlägen des Zitteraals mit dem Kriebeln oder Ameisenkriechen in eingeschlafenen Gliedmafsen, auch sollen, wenn man den Fisch in der Hand behält, und die Schläge weniger heftig sind, die Empfindungen wie Erbebungen von Saiten oder wie eine Art von Dröhnen auf einander folgen. Eben dieses ist so charakteristisch bei den Erschütterungen durch Volta'sche Säulen.

1 Aufser den einzelnen in dem Abschnitte der Literatur aufgeführten Abhandlungen verdienen noch über die el. Fische verglichen zu werden: Cavallo's vollständige Abhandlung u. s. w. II Bände. Leipzig 1797. IIter Band. S. 226 — 247. Erxleben's physikalische Bibliothek Bd. II. III. IV. Singer Elemente der Elektricität u. s. w. S. 186, u. 331. Darstellung Volta's, seiner Untersuchungen uber die Galvanische Elektricität und ihrer Resultate in Gilb. N. Ann. XXI. S. 341. Heinrich Steffens über die elektrischen Fische. Frankfurt am Main 1818. 8.

2 De gymnoto electrico. Tubing. 1819.

b. Eine zweite auffallende Analogie bot sich in den sehr glänzenden Funken dar, welche Guisan dem Zitteraale zu entlocken wufste. Er bediente sich dazu zweier Leiter aus Flintenläufen und Eisendrähten zusammengesetzt, welche letztere mit zwei kleineren Flintenläufen verbunden waren, die nur eine halbe Linie aus einander standen. Die gröfseren Flintenläufe wurden mit ihren Enden in der einen erleuchteten Hälfte eines abgetheilten Zimmers, in welcher sich ein kräftiger Zitteraal auf einem isolirten Tische befand, mit dem Kopfe und Schwanze desselben in Verbindung gebracht, während Guisan in der andern verfinsterten Abtheilung des Zimmers die Erscheinungen an der Stelle, wo der leitende Kreis unterbrochen war, beobachtete. In dem Augenblicke der Verbindung mit dem Fische brachen in den Zwischenräumen *lebhafte Funkensonnen* von einigen Zollen im Durchmesser mit einem Geräusch wie die Funken beim Feuerschlagen hervor.

c. Guisan machte auch bei einem grofsen Zitteraale, welcher 14 Tage in Ruhe gelassen war, die sonderbare Beobachtung, dafs, als ein Leiter dem Munde desselben genähert wurde, ein auch bei vielem Lichte sehr *sichtbarer Strahlenbüschel* daraus hervorkam, und dafs dieser Leiter vom Munde entfernt einige Secunden hindurch ähnliche Strahlen ausströmte. (?)

d. Er fand, wie v. Humboldt, dafs eine Lichtflamme, wenn sie auch vollkommen den kleinen Zwischenraum im leitenden Kreise ausfüllte, die Durchleitung der Wirkung vollkommen hinderte, während sowohl glühende als trockene *Kohlen* sich als Leiter zeigten.

e. Die Wirkung des Zitteraales war eben so wie die der Volta'schen Säule in dem Verhältnisse stärker, in welchem die Leiter in einem gröfseren Umfange von der Hand umspannt wurden, und in einer gröfseren Ausdehnung den Fisch berührten.

f. Obgleich die stärkere Wirkung erfolgte, wenn der Kopf und Schwanz des Fisches zugleich berührt wurden, so war doch auch eine nur einseitige Berührung irgend eines Theiles des Fisches mit einem guten Leiter hinlänglich, um die Erschütterung mitzutheilen, und besonders schien der Kopf des Fisches hierin einen Vorzug zu haben. Er zerschnitt Zitteraale in drei Theile, die beiden hinteren schienen die el. Kraft verloren zu haben, der Kopf und die mit ihm verbundenen Theile gaben aber noch 20 Minuten hindurch lebhafte Stöfse, und als alle drei Theile wie-

der an einander gefügt wurden, so durchdrang das el. Fluidum sie alle vom Kopfe bis zum Schwanze. In einem andern Falle, wo das Gehirn eines Zitteraals mit einem Meifsel durchbohrt wurde, ertheilte der Fisch doch noch längere Zeit hindurch Erschütterungen, die jedoch am lebhaftesten waren, wenn der Finger in die Wunde oder in den Mund gesteckt wurde; doch als beim allmäligen Absterben dieses Fisches auch sein Vermögen, Erschütterungen zu ertheilen, verschwand, wurden die letzten Spuren desselben noch empfunden, als der Finger in eine Wunde im Schwanze hineingesteckt wurde.

g. Guisan beobachtete gleichfalls die besondere Empfindlichkeit des Zitteraals für Körper, welche seine Entladung vorzüglich bewirken können, und also namentlich für Metalle, die, wenn sie in den Wasserbehälter, in welchem der Fisch sich befindet, hineingesteckt werden, ihn jedesmal in eine besondere Unruhe versetzen; auch wenn er nach den Umständen dieselben nicht bemerken kann, und sie ihn hinanzuschwimmen veranlassen, wo er denn mit einer grofsen Heftigkeit dieselben anfafst, um gleichsam sein el. Fluidum in sie zu ergiefsen. *P.*

Fixsterne.

Stellae fixae; étoiles fixes; *fixed stars*; heifsen alle Sterne, die nicht *Kometen* oder *Planeten* sind, und zwar deswegen, weil sie ihre gegenseitige Stellung immer unverändert behalten.

Scheinbare Bewegung und Gröfse.

Dafs die Fixsterne, obgleich wir sie als ihre Lage nicht ändernd ansehn, dennoch scheinbare Bewegung zeigen, läfst sich wohl erklären. Die tägliche Bewegung der Erde um ihre Axe bringt den *scheinbaren Aufgang* und *Untergang* der Sterne, und den Anschein, als ob sie sich in 24 Stunden um die Erde bewegte, hervor, aber da diese Bewegung allen gemeinschaftlich ist, so erkennen wir leicht, dafs nur die Rotation der Erde es ist, die diese scheinbare Bewegung hervorbringt. Der Lauf der Erde um die Sonne bringt eine in verschiedenen Jahreszeiten ungleiche Stellung der Sterne gegen die Sonne hervor; diejenigen Sterne, welche zu gewissen Zeiten Abends aufgehen, kommen zu anderer Zeit erst um Mitternacht oder Morgens über dem

Horizonte herauf; aber auch hier überzeugt man sich leicht, dafs die Sterne unter sich ihre Stellungen behalten und blofs die Sonne scheinbar unter ihnen fortrückt, wovon das wahre Fortrücken der Erde die Ursache ist.

Auch in dem *täglichen* Fortrücken der Sterne am Himmel bemerkt der genau beobachtende Astronom kleine scheinbare Ungleichheiten. Der Stern, der das eine Mal nahe am Zenith, das andre Mal nahe am nördlichen Horizonte durch den Meridian geht, erscheint in seiner letzten Stellung den nahe am Pole des Himmels stehenden Sternen etwas näher, als in der ersteren und der Weg, den er um den Pol beschreibt, ist kein ganz genauer Kreis. Aber aus allen Beobachtungen ergiebt sich, das nur die Brechung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre diese kleinen Aenderungen bewirkt.

Eben so ist auch die im Laufe vieler Jahre merklich werdende Aenderung der Lage der Fixsterne gegen den Himmelspol keine wahre Bewegung der Sterne, sondern sie entsteht nur dadurch, dafs die Axe der sich drehenden Erde nicht ganz genau mit ihrer vorigen Lage parallel bleibt. Das Rückgehen der Nachtgleichen besteht nämlich in einer Aenderung der Lage des Aequators am Himmel und in einem dadurch bewirkten Fortrücken des Nachtgleichenpunctes; und da von diesem Puncte an die Länge der Gestirne gezählt wird, so ändert sich diese, während die Breite ungeändert bleibt. Auch die Rectascension und Declination der Sterne, die sich von einem Jahre zum andern immer auf einen andern Aequator beziehen, leiden fortwährend eben deshalb eine Aenderung. Aber alles dieses hat nur seinen Grund darin, dafs die Axe der Erde nach bestimmten Gesetzen ihre Stellung ändert, und nicht immer dem Sterne zugewandt bleibt, gegen den sie jetzt gerichtet ist. Etwas Aehnliches gilt in Beziehung auf die kleinen Aenderungen, welche durch die sogenannte *Nutation* der Erdaxe und die Abnahme der Schiefe der Ekliptik in der Stellung der Sterne gegen Aequator und Ekliptik hervorgebracht werden. Auch die zwar schnelle aber doch eine Zeit fordernde Bewegung des Lichtes bringt eine kleine Aenderung in dem scheinbaren Orte der Fixsterne hervor [1]. Endlich ist es wahrscheinlich, dafs auch eine eigene Bewegung unsers ganzen Sonnensystems eine scheinbare Aen-

1 S. *Abirrung des Lichtes.*

derung in der Lage der Sterne hervorbringen mag, wovon ich nachher bei der eignen Bewegung der Fixsterne etwas sagen werde.

Die scheinbare Gröfse oder eigentlich der *scheinbare Glanz* der Fixsterne ist sehr verschieden, von dem lebhaftesten Glanze an, den der *Sirius* uns zeigt, bis zu den feinsten teleskopischen Sternen hinab, die selbst den mächtigsten Fernröhren nur noch kaum erkennbar sind. Man hat die Sterne immer in Sterne erster Gröfse, zweiter Gröfse und so weiter eingetheilt; aber diese, freilich zu oberflächlichen Bestimmungen zureichende, Angabe beruhte auf keinem sichern Grunde, und es war daher nicht einmal genau möglich, bei allen Sternen zu sagen, ob man sie denn noch zur zweiten oder schon zur dritten Ordnung rechnen solle u. s. w. Herschel hat eine zuverlässigere Methode befolgt, um die Gröfse der Sterne zu bestimmen. Da nämlich die Betrachtungen, welche im Art. *Fernrohr* angegeben sind, ihm dazu dienten, die Lichtstärke seiner Fernröhre zu bestimmen, so fand er darin ein Mittel, den wahren Glanz zweier Sterne mit einander zu vergleichen. Wir sehen im Fernrohre ein minder glänzendes Bild eines Sterns, wenn wir die Oeffnung des Fernrohrs zum Theil verdecken; wenn man also zwei an sich ganz gleiche Fernröhre so anwendet, dafs man durch das eine mit unverminderter Oeffnung einen kleinern Stern beobachtet, durch das andere einen gröfseren Stern, bei dem letzteren aber die Verminderung der Oeffnung allmälig fortschreiten läfst, bis der gröfsere Stern wegen verminderter Oeffnung dem kleinern mit voller Oeffnung gesehenen Sterne gleich ist, so hat man durch die Abmessung der Oeffnung ein genaues Mafs der Lichtstärke beider. Dafs aber der Eindruck, den beide Sterne auf das Auge machen, gleich ist, erkennt man, wenn man abwechselnd durch das eine Fernrohr den einen, durch das andere Fernrohr den anderen Stern beobachtet. Auf diese Weise hat Herschel viele Bestimmungen gemacht, von denen folgende Angaben als Beispiele dienen [1]. Der Stern α in der *Andromeda*, und der *Polarstern* haben $\frac{1}{4}$ des Lichtes, welches *Arcturus* besitzt; der Stern μ im *Pegasus* hat $\frac{1}{4}$ des Lichtes von α der *Andromeda;* und ebenso ist q im *Pegasus* einer der Sterne, die $\frac{1}{2}$ des Lichtes haben, das wir am μ des *Pegasus* beobachten. Aus den im Art. *Fernrohr* angeführten Gründen

1 Philos. Trans. for 1818. 429.

kann man also sagen, wenn Arcturus in die zweimal so groſse Entfernung von uns gerückt würde, so würde er α der Andromeda gleich erscheinen; viermal so entfernt, als er jetzt ist, würde er dem μ des Pegasus, achtmal so entfernt würde er dem q des Pegasus gleichen. Hiernach müſste man q des Pegasus, einen Stern achter Gröſse nennen, obgleich die Verzeichnisse ihn zur fünften Gröſse rechnen. Nach ähnlichen Bestimmungen setzt Herschel das Licht des *Sirius* $= 1$, der *Capella* $= \frac{4}{9}$, des *Procyon* $= \frac{16}{49}$ und so ferner, und findet, daſs die kleinsten, mit bloſsem Auge noch sichtbaren Sternen, die man zur sechsten und siebenten Gröſse zu rechnen pflegt, nur $\frac{1}{144}$ des Lichtes, welches Sirius hat, besitzen, oder etwa $\frac{1}{150}$ des Lichtes der verschiedenen Sterne, die wir erster Gröſse nennen, daſs also diese Sterne reichlich zwölfmal so entfernt als Sterne der ersten Gröſse seyn müssen, und daher zur zwölften Gröſse müſsten gerechnet werden. Bedenkt man nun, daſs die raumdurchdringende Kraft eines 20füſsigen Herschelschen Teleskops etwa 70 bis 80 mal so groſs als die des bloſsen Auges ist, so reicht ein solches Fernrohr bis zu Sternen der 840sten bis 960sten Gröſse; Herschel's 25füſsiges Teleskop bis zu Sternen der 1150ten Gröſse; das 40füſsige, dessen Kraft $= 191$ ist, bis zu Sternen der 2290ten Gröſse.

Aber nicht bloſs die Gröſse der Sterne ist sehr verschieden, sondern auch ihre *Farbe*. Sirius hat ein weiſses Licht, statt daſs Aldebaran, der Stern Beteigeuze in Orion's Schulter und andre roth sind; Herschel nennt den Stern 22. α. des groſsen Hundes Granatroth, und noch mehr rothe Sterne giebt Lalande an [1]. Auch andere Farben finden sich bei den kleinern Sternen und Herschel's Verzeichnisse geben blauliche, grünliche und violette Sterne an [2]. Auch noch andere Verschiedenheiten des Lichtes glauben einige Beobachter bemerkt zu haben. Olbers z. B. bemerkt, daſs unter den kleineren Sternen einige ein scintillirendes Licht zeigen, während andere, bei gleicher Lichtstärke, ein stilles und ruhiges Licht besitzen, und äuſsert den Gedanken, daſs die letzten wohl die entferntern seyn möchten [3].

---

1 Connaiss. des Tems. pour. l'an XV. p. 378. und de Zach corr. astron. VII. 298.

2 Vorschläge die Farben der Sterne näher zu bestimmen in Philosoph. Magaz. 1824. März. Apr.

3 Astron. Jahrb. 1826. S. 120.

Wahre Entfernung und Gröfse, Anzahl und Anordnung der Sterne.

Da die Erde jährlich einen Kreis durchläuft, der 41 Millionen Meilen im Durchmesser hat, so sollte man glauben, es müfste eine Parallaxe der Fixsterne statt finden, man müfste an den nähern eine scheinbare Aenderung der Stellung gegen die entferntern bemerken; aber dieses ist auf keine merkliche Weise der Fall. Die seit Bradley's Zeit oft wiederholten Bemühungen, die jährliche Parallaxe der Fixsterne zu bestimmen, haben die Ueberzeugung herbeigeführt, dafs sie gewifs bei keinem Sterne, auf den man die Beobachtung gerichtet hat, zwei Secunden beträgt, ja dafs sie vermuthlich kleiner als 1 Sec. ist, aber etwas Bestimmtes, wie grofs die Parallaxe sey, hat man noch bei keinem Sterne gefunden.

Herschel brachte die Beobachtung der Doppelsterne in Vorschlag, um die Parallaxe zu bestimmen, weil, wenn ein näherer und ein sehr viel entfernterer Stern fast in gerader Linie mit unserer Sonne stehen und sich uns daher als Doppelstern zeigen, die kleine Aenderung in der gegenseitigen Stellung, welche aus der Bewegung der Erde hervorgehen möchte, am leichtesten merklich seyn würde. Schröter hat solche Beobachtungen angestellt und glaubt an ζ Orionis und an Mesarthim eine Parallaxe von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Sec. beobachtet zu haben [1]. Aber im Allgemeinen ist diese Methode doch nicht zu empfehlen, weil unter den Doppelsternen weit mehr einander nahe stehende Sterne seyn mögen, als solche, die weit von einander nur durch Zufall uns nahe neben einander erscheinen, und nur diese, die wir nach und nach wohl mit einiger Sicherheit erkennen werden, sind zu dieser Beobachtung passend. Andere Astronomen sind daher auch in neuerer Zeit zu der unmittelbaren Ortsbestimmung der Sterne zurückgekehrt, so wie Bradley sie zu eben dem Zwecke anwandte. Piazzi, Calandrelli, und Brinkley haben geglaubt, bei den allersorgfältigsten Beobachtungen eine Parallaxe zu bemerken, die nach Calandrelli [2] bei α der Leier sogar auf 5″, nach Brinkley bei eben dem Sterne auf $2\frac{1}{2}$″ gehen soll. Piazzi's Beobachtungen des Polarsterns, die eine Parallaxe von

1 Astr. Jahrb. 1805. 200.

2 Astronom. Jahrb. 1814. S. 229. Philos. Transact. 1818. 275. 1821. 327.

1½″ zu geben schienen, geben aber nach v. LINDENAU's Bemerkung gar keine Parallaxe, wenn man einige Beobachtungen, die von MASKELYNE's gleichzeitigen Beobachtungen zu sehr abweichen, ausschliefst [1]. BRINKLEY's Beobachtungen, von denen übrigens POND mit aller Achtung spricht, scheinen doch gleichfalls durch irgend einen andern Umstand die Differenzen gegeben zu haben, die BRINKLEY der Parallaxe zuschreibt. Um dieses sicher zu entscheiden, hielt POND seine übrigen vortreflichen Instrumente nicht für genau genug, und liefs daher zwei zehnfüfsige Fernröhre völlig feststehend, das eine auf α des Adlers, das andere auf α des Schwans richten [2]. Jedes dieser Fernröhre enthält ein sehr genaues Mikrometer und man beobachtet nun den Durchgang jenes Sternes und eines zweiten durch dasselbe Feld gehenden, der nach seiner Stellung die Maxima der Parallaxe zu ganz anderen Jahreszeiten haben müfste. Auf diese Weise wurden α des Schwans und β des Fuhrmanns zusammen beobachtet, und hier ergab sich, dafs die Parallaxe dieser Sterne schwerlich $\frac{1}{10}$ Sec. betragen könne [3]. Bei α der Leier konnte diese Beobachtung nicht gut gebraucht werden, weil kein hinreichend heller, auch bei Tage im Fernrohr sichtbarer Stern sich in gleicher Declination und ungefähr 12 Stunden später durch den Meridian gehend auffinden läfst; POND beobachtete daher α der Leier und γ des Drachen, so dafs er ihren Winkelabstand zu allen Jahreszeiten strenge bestimmte, und durfte diese Sterne mit desto mehr Recht wählen, da BRINKLEY dem ersten eine bedeutende Parallaxe, dem zweiten gar keine merkliche Parallaxe zuschreibt. Bei diesen Beobachtungen wurden alle Vorsichten angewandt, und namentlich darauf gesehen, dafs die Temperatur im Observatorio der äufsern gleich war, und das Resultat war, dafs auf den Unterschied der Parallaxen beider Sterne noch kein Zehntel Secunde komme [4]. Auch die auf α der Leier allein gerichteten Beobachtungen zeigen, dafs dieser Stern keine für POND's höchst vortreflliches Instrument merkliche Parallaxe hat [5], und dafs also wohl in BRINKLEY's Instru-

1 Astron. Jahrb. 1819. S. 217.
2 Phil. Tr. 1817. 160.
3 Phil. Tr. 1817. 356.
4 Phil. Tr. 1823. 54.
5 a. a. O. 69. 70. 72.

ment, so vorzüglich es für Sterne nahe am Zenith ist, doch vielleicht kleine Fehler, die zugleich von der Temperatur abhängen mögen, bei Sternen, welche weiter vom Zenith entfernt sind, eintreten.

Auch nach diesen Untersuchungen also scheinen wir zu der Behauptung zurück geführt zu werden[1], daſs wir die Grenzen der Parallaxen immer desto enger finden, je vollkommener unsere Instrumente und unsere Beobachtungsmethoden werden, und daſs eine wahre Bestimmung der Parallaxe unmöglich ist. Betrüge aber die Parallaxe ½ Secunde, für die nächsten Fixsterne, so wären diese dennoch 500000 mal so weit als die Sonne, das ist 10 Billionen Meilen von uns entfernt und das Licht, welches in 8⅛ Minuten von der Sonne zu uns kommt, würde 7¾ Jahre gebrauchen, und von diesem nächsten Fixsterne zu uns gelangen. Der gröſseste Theil der Fixsterne muſs noch weit entfernter seyn, und wenn man annimmt, daſs der *Sirius* ein Weltkörper mittlerer Gröſse ist, oder daſs im Allgemeinen die Sterne, die uns am gröſsten erscheinen, nur durch ihre Nähe diesen Vorzug haben, (eine Voraussetzung, die allerdings in Beziehung auf einen einzelnen Stern fehlerhaft seyn kann, aber als mittlere Bestimmung für *alle* doch die einzige wahrscheinliche ist), so läſst sich nach den schon angeführten Bestimmungen Herschel's mit Grunde sagen[2], daſs die uns mit Fernröhren sichtbaren Sterne sich wenigstens bis auf 900 Siriusweiten oder bis auf Entfernungen, 900 mal so groſs, als die des nächsten Fixsterns erstrecken. Herschel führt[3] Beobachtungen über die Sterne im Degengriff des Perseus an, welche mit groſser Sicherheit zu zeigen scheinen, daſs hier Sterne hinter einander liegen, die sich von 24 Siriusfernen bis 340 Siriusfernen durch einen Raum von 3000 Billionen Meilen erstrecken. Dieser Sternhaufen nämlich zeigt dem bloſsen Auge keinen einzelnen Stern deutlich; nimmt man aber ein Fernrohr, welches doppelt so weit als das bloſse Auge in den Raum eindringt, so

---

1 Auch Bessel stimmt hiermit überein: Fundamenta astronomiae p. 121.

2 Diese Angabe Herschel's scheint absichtlich, als die kleinste, welche man annehmen kann, gewählt, denn nach der Kraft des 40 füſsigen Teleskops zu rechnen, könnte man 2000 statt 900 setzen.

3 Phil. Tr. 1818. 429.

sieht man einige Sterne, deren Zahl stets mehr zunimmt, je stärker man nach und nach die Kraft des Fernrohrs wählt, und immer zeigen sich noch neue Sterne, wenn man auch ein Fernrohr nimmt, das 28¼ mal so weit als das bloſse Auge (bis 342 Siriusfernen) in den Raum eindringt. Bei einem solchen einzelnen Sternhaufen kann man zwar einwenden, er könne wohl aus kleineren, einander nahe stehenden Sternen bestehen, aber diese Voraussetzung kann doch nicht mit Wahrscheinlichkeit auf alle Gegenden der *Milchstraſse*, in welcher auf ähnliche Weise jedes stärkere Fernrohr immer neue Sterne sichtbar macht, angewandt werden, und wir dürfen sagen, daſs so weit es uns in unserm irdischen Standpuncte zu beurtheilen erlaubt ist, die uns umgebenden, besonders in der Milchstraſse sich bis zu groſsen Entfernungen erstreckenden Sterne, bis auf wenigstens 9000 Billionen Meilen Entfernung von uns ausgebreitet seyn mögen.

Ueber die *wahre Gröſse* der Sterne können wir zwar nichts Genaues sagen, aber die Ueberlegungen, die sich uns hier darbieten, stimmen so mit den eben angeführten Bestimmungen zusammen, daſs sie diese zu bestätigen dienen. Daſs sie *Sonnen* oder selbstleuchtende Körper sind, kann man als gewiſs annehmen, theils weil wir nicht einsehen, von woher sie Erleuchtung erhalten sollten, theils weil Körper mit fremdem Lichte erleuchtet uns gewiſs nicht in so groſser Entfernung sichtbar seyn könnten. Der scheinbare Durchmesser der Sterne ist aber so klein, daſs an eine Messung desselben nie zu denken ist. Je reiner die Bilder sind, die ein Fernrohr darstellt, desto mehr überzeugt man sich, daſs auch die stärksten Vergröſserungen keinen meſsbaren Durchmesser zeigen. Eben dieses zeigt die Bedeckung der Sterne durch den Mond, indem sie hinter dem dunkeln Rande nicht nach und nach, wie es einem gröſsern scheinbaren Durchmesser gemäſs wäre, sondern plötzlich verschwinden. Auch photometrische Untersuchungen zeigen, daſs wenn unsere Sonne so weit hinausgerückt würde, als die nächsten Fixsterne etwa seyn mögen, sie uns wohl noch den Glanz eines Fixsterns zeigen könnte, obgleich ihr Durchmesser nur noch $\frac{1}{110}$ Sec. betragen, also unmeſsbar seyn würde. Als ein Beispiel solcher Berechnung theilt Olbers[1] die Vergleichung mit, die sich aus

---

1 v. Zach Mon. Corr. VIII. 301.

dem, zu gewissen Zeiten gleichen Glanze des Mars und Aldebaran ergiebt. Diese zeigt, daſs man die Lichtstärke der Sonne wenigstens 97000 Millionen mal gröſser als die eines Fixsterns erster Gröſse setzen muſs, und daſs sie sogar wohl über 120000 Millionen mal so groſs kann angenommen werden. Sollte die Sonne also so schwach an Licht erscheinen, als ein Fixstern erster Gröſse, so müſste sie 310000 mal bis 350000 mal so weit von uns seyn, als sie jetzt ist, und auch nach diesen Bestimmungen wäre die Entfernung des nächsten Fixsterns 7 Billionen Meilen. Wir können also nun auch den Schluſs umkehren und sagen, da nach Angabe der Parallaxe die Entfernung selbst der nächsten Sterne so ungemein groſs ist, so müssen wenigstens die Sterne erster Gröſse eher gröſser als kleiner, wie unsere Sonne seyn, und da doch ganz gewiſs nur wenige Sterne sich in jener geringsten Entfernung, die übrigen nach und nach viel weiter entfernt, befinden, so ist aller Grund, im Allgemeinen zu sagen, die Fixsterne sind wahrscheinlich nicht kleiner als unsere Sonne. Schubert's[1] Meinung, daſs die Sterne, die entfernter von uns stehen, auch kleiner sind, eben darum aber auch unser Blick sich nicht so tief in den Raum erstrecke, als Herschel es annimmt, scheint mir ganz unbegründet, obgleich im Einzelnen wohl manche Sterne klein seyn können, und es sofern nicht unmöglich wäre, daſs selbst unter den kleiner erscheinenden Sternen einmal einer aufgefunden würde, der eine meſsbare Parallaxe hätte.

Ueber die *Anordnung* der Sterne in dem unermeſslichen Sternsysteme, zu welchem unsere Sonne gehört, wissen wir nichts, und haben keine sicheren Mittel, um uns zuverlässige Kenntnisse davon zu erwerben. Nimmt man an, daſs im Durchschnitt alle Sterne gleich groſs sind, so würde Herschel's schon erwähnte Methode, zu beobachten, bei welcher Raum durchdringenden Kraft uns irgend ein Stern sichtbar wird, ein Mittel seyn, die Entfernung desselben zu bestimmen, und die so angestellten Abzählungen scheinen die gleiche Austheilung im Raume, welche ohnehin die einzige wahrscheinliche Hypothese ist, wenigstens eher zu bestätigen als zu widerlegen. Wenn man sich eine Kugelfläche vom Halbmesser = 1 als das Gebiet unsrer

---

1 Nicht des Astronomen, sondern des Philosophen, der eine *Kosmographie* geschrieben hat.

Sonne denkt, und das Gebiet einer zweiten Sonne daran grenzend, so stände diese in der Entfernung = 2 und ihr Gebiet erstreckte sich von der Entfernung = 1 bis zur Entfernung = 3; die Kugelschicht zwischen den Oberflächen, deren Halbmesser = 1 und = 3 sind, enthält aber 26 solche Räume, wie das Gebiet unserer Sonne, und es müſsten daher bei gleicher Austheilung der Sterne 26 Sterne erster Ordnung seyn; die Kugelschicht zwischen den Halbmessern = 3 und = 5, enthält 98 Sterngebiete, dem Gebiete unserer Sonne gleich, also Raum für 98 Sterne der zweiten Ordnung und eben so haben wir 218 für Sterne der dritten Ordnung, 388 für Sterne der vierten Ordnung. Nach Herschel's oben angeführten Beobachtungen würde μ des Pegasus zur vierten Ordnung gehören, und wenn man alle Sterne zusammen nimmt, die, nach den gewöhnlichen Angaben der Gröſsen, eben so groſs oder gröſser erscheinen, so geben die Kataloge deren 730 (eigentlich wohl noch mehrere, da Piazzi's Katalog den Stern μ schon zwischen vierter und fünfter Gröſse setzt), die demnach den 728 Sonnengebieten ganz genau angemessen wären. Gehen wir nun weiter und berechnen die Räume der fünften Ordnung = 602, der sechsten Ordnung = 866, der siebenten Ordnung = 1178, so würde die Summe dieser Räume 2646 seyn, und da q des Pegasus, ein Stern fünfter Gröſse nach den Katalogen, nach Herschel's Bestimmung der Lichtstärke schon in die achte Ordnung gehört, so könnten wir die 1161 Sterne der fünften Gröſse, welche die Kataloge angeben, zu diesen drei Ordnungen rechnen, und diese wären also lange nicht so zahlreich, als sie seyn könnten. Die Zahl der Sterne, welche man sechster oder siebenter Gröſse nennt, wird auf ungefähr 12000 angegeben, aber da unsere Kataloge hier unvollkommen sind, so muſs man freilich etwas mehr rechnen; diese Sterne nehmen nach Herschel's Lichtabmessung wenigstens die achte, neunte, zehnte und eilfte Ordnung ein und der Raum, in den sie zerstreut sind, beträgt gegen 9000, oder wenn man die zwölfte Ordnung, wie es nach Herschel's Bestimmung erlaubt ist, noch mit hinzunimmt, über 12000, so daſs bis zu den Grenzen hin, die das bloſse Auge übersieht, die gleiche Gröſse der Sterne und die gleiche Ausdehnung der Sterngebiete nicht erheblich von der, als wahrscheinlichstes Resultat der Beobachtung sich ergebenden Bestimmung abweicht. Diese Ueberlegungen zeigen auch den Weg, wie man die Frage nach der Anord-

nung unsers Sternsystems, zwar nie mit Sicherheit, aber doch mit immer gröſserer Wahrscheinlichkeit weiter beantworten kann.

Bei früheren Beobachtungen hatte Herschel, um nur ungefähr den Umriſs des Sternsystems kennen zu lernen, zu welchem unsere Sonne gehört, sich mehr auf die Sternzählungen verlassen, und die Entfernung, bis zu welcher hinaus sich die in einer bestimmten Gegend beobachteten Sterne erstreckten, der Cubikwurzel ihrer Anzahl in einem immer gleichen Gesichtsfelde proportional angenommen, so daſs z. B. wenn das eine Mal 5, das andere Mal 472 Sterne im Gesichtsfelde erschienen, die Räume, worin sie ausgebreitet seyn möchten, wie $\sqrt[3]{5}$ zu $\sqrt[3]{472}$, wie 1710 zu 7786 angenommen wurde. Nach diesen Grundsätzen hat damals Herschel einen Querschnitt unsers Sternsystems gezeichnet[1], und die Ausdehnung desselben nach einer Richtung *senkrecht auf* die Milchstraſse etwa 100 Siriusfernen nach beiden Seiten, nach einer Richtung *in* der Milchstraſse an der einen Seite 300, an der andern gegen 500 Siriusfernen angegeben. Wenn man mit Fernröhren von ungleichen Raum durchdringenden Kräften nach allen Gegenden des Himmels ähnliche Sternzählungen anstellte, so könnte die Frage nach der Anordnung und Gröſse unsers Sternsystems viel vollständiger beantwortet werden, und Herschel's Angaben, die als erste Versuche dieser Art schon recht viel geleistet haben, würden gewiſs noch manche Berichtigung erhalten.

Von der unzähligen Menge der Sterne geben diese Zählungen wenigstens einen oberflächlichen Begriff. Herschel giebt nämlich an, daſs nach der Zählung in einigen Gesichtsfeldern in dem dichtesten Theile der Milchstraſse, 116000 Sterne in einer Viertelstunde durch das Teleskop gingen, in einem Streifen, der 2½ Grad Breite hatte. In den von der Milchstraſse entfernten Gegenden des Himmels ist freilich die Anzahl der Sterne viel geringer, aber wie ungemein groſs dennoch die Anzahl der mit den stärksten Fernröhren sichtbaren Sterne ist, läſst sich hieraus ungefähr abnehmen.

---

1 Herschel's sämmtliche Schriften 1ster Band. S. 114. Taf. 3.

Eigene Bewegung der Fixsterne.

Obgleich wir, sobald es auf irgend erhebliche Aenderungen in der Stellung ankommt, mit Recht behaupten, dafs die Fixsterne ihre Stellung gegen einander nicht ändern, so haben doch genaue Beobachtungen gezeigt, dafsauch sie nicht ganz unbewegt bleiben. Diese anscheinend eigenthümliche Bewegung ist zuerst von Halley[1] durch Vergleichung mit des Ptolemäus Angaben entdeckt, und für einige gröfsere Sterne ist theils von ihm, theils von Cassini und mehreren Astronomen derselben Zeit, die Gröfse dieser Fortrückung angegeben worden. Ein etwas vollständigeres Verzeichnifs von 70 Sternen, an denen man eigene Bewegung bemerkt, gab Tob. Mayer[2] und später sind die Beobachtungen und die Vergleichungen mit älteren Beobachtungen sehr vermehrt worden. Namentlich hat Piazzi seine eigenen Beobachtungen mit denen der früheren Astronomen verglichen; Bessel hat aus Bradley's Beobachtungen die nach allen Reductionen hervorgehende eigene Bewegung bestimmt. Maskelyne und Pond haben eben diese Vergleichungen angestellt[3]. Nach diesen Untersuchungen hat *Sirius* eine eigene Bewegung von 1 Sec. südlich, *Arcturus* rückt 2 Sec. südlich fort. Eine vorzüglich starke eigene Bewegung haben nach Bessel μ der *Cassiopeja*, welcher 6′ 10″ in 100 Jahren fortrückt, d im *Eridanus*, welcher 6′ 44″, und No. 61 im *Schwan*, welcher 8′ 31″ in hundert Jahren zurücklegt. Bei diesen Sternen beträgt also die eigene Bewegung 4 bis 5 Secunden jährlich und kann daher leicht wahrgenommen werden. Bessel führt es als etwas vorzüglich Bemerkenswerthes an, dafs sich unter den Sternen, deren eigene Bewegung bedeutend ist, so viele Doppelsterne finden, nämlich unter den aus Bradley's Beobachtungen angemerkten 71 Sternen, deren jährliche Bewegung mehr als ½ Sec. beträgt, sind 17 Doppelsterne; ja es rücken selbst Sterne, die nicht einander ganz nahe stehen, gemeinschaftlich fort, z. B. der Doppelstern A im *Ophiuchus* und No. 30. im *Scorpion*, die 12 Minuten von einander entfernt sind, haben eine gemein-

---

1 Phil. Tr. 1718. 736.

2 Opera inedita. I. No. 6.

3 Piazzi im Libro sesto del real osserv. di Palermo, Bessel in den fundamentis astronomiae pro anno 1755, p. 308.

schaftliche Bewegung, die über 1 Sec. jährlich beträgt[1]. Etwas Aehnliches scheint hie und da bei noch weiter von einander entfernten Sternen statt zu finden. Pond[2] hat zu diesen Bestimmungen der eigenen Bewegungen noch folgende unerwartete Bemerkung hinzugefügt. Wenn Pond aus Bradley's Beobachtungen für 1756 und aus seinen eigenen Beobachtungen für 1813 die eigene Bewegung, so als ob sie gleichförmig wäre, herleitete, und, mit gehöriger Rücksicht auf das Rückgehen der Nachtgleichen, den Ort eines Sternes für eine spätere Zeit bestimmte, so fand er im Allgemeinen, daſs die Beobachtung die Sterne südlicher angab, als jene Vorausberechnung; diese Tendenz zu einer südlichern Stellung schien stärker bei den südlichern als bei den nördlichern Sternen, und die wenigen Sterne, die eine Tendenz nordwärts zeigten, lagen nördlich vom Zenith und hatten ihre Lage wenig geändert. *Sirius* befindet sich an der Seite des Himmels, wo die südliche Bewegung, wie es scheint, am merklichsten ist, *Antares* in der entgegengesetzten Gegend, wo sie wieder merklich ist. Einige Sterne haben sich mehr von ihrem vorausberechneten Platze entfernt, als andere benachbarte Sterne, und da wo dieses der Fall ist, findet sich die Bewegung allemal südlich. *Capella*, *Procyon* und *Sirius*, deren eigene Bewegung schon nach älteren Beobachtungen als südwärts gerichtet bekannt war, stehen immer südwärts von dem voraus berechneten Orte, und haben also eine beschleunigte südwärts gerichtete Bewegung. Zu bemerken ist doch auch, sagt Pond, daſs obgleich in dem Greenwicher Kataloge sich eben so viele Sterne finden, deren eigene Bewegung nördlich, als deren eigene Bewegung südlich ist, dennoch die Summe aller südlichen eigenen Bewegungen viermal so groſs als aller nördlichen ist, doch könne man noch immer nicht sicher sagen, ob dieses nicht Zufall sey.

Man kann mit Recht die Frage aufwerfen, ob nicht auch diese Bewegung der Fixsterne nur eine scheinbare sey, und Prevost nebst Herschel haben fast zu gleicher Zeit die Untersuchung angestellt, welche scheinbare Bewegung sich an den Sternen müſste wahrnehmen lassen, wenn unsere Sonne mit allen Planeten im Weltraume fortrückte. Ist nämlich unsere

---

1 Dies bestätigen South and Herschel Ph. Tr. 1826. 363.

2 Phil. Tr. 1823. p. 36.

Sonne ein Fixstern, und haben andere Fixsterne eine eigene Bewegung, so ist es wahrscheinlich, daſs auch sie im Raume fortrückt, ja es ist schon an sich eine absolute Ruhe ganz unwahrscheinlich; diese Bewegung aber muſs auf den scheinbaren Ort der Sterne einen Einfluſs haben, am meisten auf die, welche uns näher sind. Die Sterne, gegen welche hin sich unser Sonnensystem bewegt, müssen weiter aus einander zu rücken, die welche wir hinter uns zurücklassen, müssen ihre Abstände zu vermindern scheinen, alle aber werden sich, wenn die Bewegung der Sonne allein die Ursache dieser scheinbaren Bewegung ist, so fortbewegen, daſs der scheinbar durchlaufene Bogen gegen den Punct zu geht, von welchem abwärts unsere Bewegung gerichtet ist. Hierauf gründete sich Prevost's und Herschel's Bemühung aus den damals bekannten Beobachtungen die Richtung der Bewegung vieler einzelner Sterne auf die Himmelskugel aufzuzeichnen, und zu sehen, ob die Durchschnittspuncte dieser Richtungslinien vielleicht in *eine* Himmelsgegend zusammenfielen. Wäre wirklich die Bewegung unserer Sonne, die wir ohne Zweifel für eine nicht zu erhebliche Zeit als geradlinigt ansehen dürften, die *einzige* Ursache jener Erscheinung, und wären die Beobachtungen vollkommen genau, so müſsten alle jene scheinbaren Wege einzelner Sterne verlängert sich genau in zwei einander gegenüber liegenden Puncten der Himmelskugel durchschneiden, und alle Bewegungen müſsten dem *einen* Puncte zu gehen; und selbst wenn wahrhaft eigene Bewegungen sich einmischten, lieſse sich hoffen, daſs jene Durchschnittspuncte doch um den Punct herum, wohin sie eigentlich genau fallen sollten, zahlreicher liegen würden, als anderswo. Die Beobachtungen schienen dieses wirklich zu bestätigen, und die Durchschnittspuncte der Kreise, auf welche die Sterne fortrücken, deren eigene Bewegung am erheblichsten ist, schienen nach Prevost[1] um einen in 230° Rectascension liegenden Punct am meisten vorzukommen. Herschel setzte den Punct[2], gegen welchen die Sonne zu gehe, bei λ des *Hercules* in 258° Rectasc. und 27° nördl. Decl. und Prevost findet in seiner spätern Untersuchung diesen Punct

---

1 Mém. de Berlin 1781. p. 445. und astron. Jahrb. 1805. S. 113.

2 Astron. Jahrb. 1787. S. 224. 1811. S. 224. und 1ster Suppl. Bd. S. 67. Phil. Transact. 1783. 147.

ganz wohl mit den Beobachtungen übereinstimmend. Später hat Herschel das Knie des *Hercules* (in 246° Rectasc. und 49¼ Decl.) als noch genauer den Beobachtungen entsprechend angegeben, und bemerkenswerth ist es wenigstens, daſs so viele Durchschnittspuncte der eigenen Bewegung gröſserer Sterne in und um den *Hercules* fallen [1]. Aber spätere Vergleichungen haben dennoch die Meinung, daſs die Bewegung unsers Sonnensystems sich so deutlich in den eigenen Bewegungen der Fixsterne zeige, als sehr unsicher dargestellt, indem, wie Bessel bemerkt [2], ganz entfernte, ja diametral einander entgegengesetzte Puncte an der Himmelskugel angegeben werden können, die man hiernach als die Puncte, auf welche zu unsere Sonne geht, ansehen dürfte.

Wenn man Bessel's Angaben der eigenen Bewegungen etwas näher betrachtet, so scheint es, daſs aus diesen sich zwar nicht die eigene Bewegung der Sonne verräth, aber doch manche merkwürdige Uebereinstimmungen bei Sternen, die in einerlei Himmelsgegend stehen, vorkommen. So z. B. haben drei Sterne in der Cassiopeja, β, η, μ, zwar eine ungleiche Fortrückung, aber eine nahe gleiche Richtung, indem der eine Pol des Kreises, auf welchem jeder von ihnen fortrückt, sehr nahe bei 160° Rectasc. und 30° Decl. liegt [3]; etwas Aehnliches findet, wenn gleich weniger gut, bei ε und 61 des *Schwans* und b und α des *Adlers* statt, wo der Pol bei 190° Rectasc. und 40 bis 50° Declin. liegt. — Aber freilich darf man auf diese, vielleicht zufälligen Umstände keinen groſsen Werth legen.

Zu bemerken ist endlich noch, daſs auch bei den Sternen, deren eigene Bewegung so erheblich ist, keine jährliche Parallaxe beobachtet wird, und sie also sehr weit von der Erde entfernt seyn müssen [4].

Doppelsterne.

Man findet sehr viele Sterne, die so nahe neben sich einen oder auch mehrere haben, daſs man sie für zusammen-

---

1 Astron. Jahrb. 4ter Suppl.-Band. S. 70. 71.

2 Fundamenta astron. p. 309.

3 Das Gemeinschaftliche, was hierin zu liegen scheint, gewinnt durch v. Lindenau's Bemerkung (Astron. Jahrb. 1818. S. 248.) daſs die Sterne um μ Cassiop. eine ähnliche Bewegung zu haben scheinen, noch an Merkwürdigkeit.

4 Astron. Jahrb. 1818. S. 248.

gehörige Sterne anzusehen Veranlassung findet. Diese Doppelsterne oder vielfachen Sterne könnten, freilich wohl auch nur scheinbar, einander nahe seyn, und wirklich, zwar fast in derselben Richtung, aber doch sehr weit von einander entfernt, stehen; allein wenn man nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung bestimmt, wie viele Sterne selbst 10ter, 12ter Gröfse auf einen Quadratgrad am Himmel im Durchschnitte kommen, so findet man, dafs das Zusammentreffen mehrerer oder auch nur zweier in einer Entfernung von wenig Secunden nur sehr selten zufällig vorkommen könnte. Dieser Grund[1] gäbe schon Veranlassung, die Doppelsterne als wirklich in Verbindung stehend anzusehen; aber diese Verbindung zeigt sich bei manchen noch viel entscheidender durch eine gemeinschaftliche eigene Bewegung und durch Bewegung um einander. Schon Christ. Mayer machte auf diese Fixsternsysteme aufmerksam[2], und obgleich seine Meinung, dafs wir dort Planeten, die um einen Fixstern laufen, sähen, wohl keinen Beifall verdient, so hat er doch das geahnet, was spätere Zeiten bestätigt haben.

Unter den Sternen, welche als Doppelsterne eine starke eigene Bewegung haben, oder wo beide zusammen fortgerückt sind, ist No. 61. im *Schwane* am merkwürdigsten. Bessel[3] und Piazzi haben zuerst hierauf aufmerksam gemacht, der erstere aber hat die relative Bewegung beider gegen einander sorgfältiger untersucht. Seit Bradley's Zeit kennt man diesen Stern als Doppelstern, und seit dieser Zeit sind beide Sterne, ohne ihren Abstand erheblich zu ändern, um 7 Minuten gegen die benachbarten Sterne fortgerückt. Diese zwei Sterne rücken also im Weltraume zusammen fort, und da ihr scheinbarer Weg jährlich 5 Secunden, ihre Parallaxe aber allem Anschein nach nicht $\frac{1}{2}$ Secunde beträgt[4], so mufs der wahre durchlaufene Raum wenigstens 200 Millionen Meilen betragen. Dabei haben nun die Sterne eine gegenseitige Bewegung, so dafs der Stel-

---

1 Herschel's Schriften I. S. 180.

2 Mayer's Vertheidigung neuer Beobachtungen von Fixsterntrabanten. Mannh. 1778. und Comment. Acad. Theodoro-Palat. Vol. IV. Phys. 1780. auch Astron. Jahrb. 1784. S. 183. und 1785. S. 132.

3 Astron. Jahrb. 1815. S. 209.

4 Nach Bessel's zahlreichen Beobachtungen ist sie ganz unmerklich. Astron. Zeitschr. von v. Lindenau. II. 134.

lungswinkel sich etwa um 60 Grade geändert und der Abstand von 20″ bis ungefähr auf 15″ abgenommen hat. Die Sterne scheinen also seit BRADLEY's Zeit bis zu BESSEL's Beobachtungen ein Sechstel ihrer Bahn durchlaufen zu haben, so daſs ihre ganze Umlaufszeit 350 bis 400 Jahre seyn würde[1]. Ein Planet, der in 354 Jahren um unsere Sonne lief, müſste 50 mal so weit als die Erde von der Sonne entfernt seyn, und folglich, wenn die Summe der Massen jener beiden Sterne der Sonnenmasse gleich wäre, so würde die Parallaxe der Erdbahn nur $\frac{1}{50}$ des scheinbaren Abstandes, etwa $\frac{1}{3}$ Secunde betragen. Die Vermuthung, daſs diese Sterne eben so viel Masse als die Sonne haben, ist also durch die Beobachtung, daſs die Parallaxe unmerklich ist, so ziemlich bestätigt, und ihre Masse kann noch gröſser seyn, wenn die Sterne noch weiter von uns entfernt sind.

Ueber ähnliche Bewegungen der Doppelsterne um einander hat zuerst HERSCHEL eine Reihe von Beobachtungen bekannt gemacht, zu denen nachher STRUVE und SOUTH die wichtigsten Zusätze und Bestätigungen geliefert haben [2]. Aus diesen Beobachtungen hebe ich einige aus. Der Stern *Castor* ist ein Doppelstern, der Abstand beider von einander 5 Secunden die Umlaufszeit, nach SOUTH's und des jüngern HERSCHEL's Beobachtungen 460 Jahre. Sollten diese beiden Sterne zusammen eine Masse so groſs als unsere Sonne haben, so müſsten sie 60 mal so weit von einander als die Erde von der Sonne entfernt seyn, und ihre Parallaxe kaum $\frac{1}{12}$ Secunde betragen. ε in *Bootes* gewährt, wegen der eigenthümlichen Lichtfarbe beider Sterne, das Ansehen, als ob es ein Planet mit seinem Trabanten wäre. ζ des *Hercules* ward 1782 als ein Doppelstern beobachtet, wo der gröſsere ein bläulich weiſses, der kleinere ein aschfarbiges Licht hatte; der schon damals geringe Abstand hatte 1795 so abgenommen, daſs er schwerer zu erkennen war; 1802 waren beide Sterne gar nicht mehr als getrennt zu erkennen und scheinen sich also bedeckt zu haben. HERSCHEL macht bei diesen Beobachtungen die richtige Bemerkung, daſs man auch

---

1 Die Winkelbewegung scheint, nach SOUTH und HERSCHEL jetzt langsamer zu seyn und nur $\frac{1}{4}$ Gr. jährlich zu betragen. Phil. Tr. 1826. 382.

2 Astron. Jahrb. 1808. S. 154. 226. Ph. Tr. 1803. 1804. Ph. Tr. 1826. 321.

hier auf die Bewegung der Sonne Rücksicht nehmen müsse, und daher über die gegenseitige wahre Bewegung der Doppelsterne nicht ganz sicher urtheilen könne, bis man durch das gemeinschaftliche Fortrücken beider Sterne die Richtung, nach welcher sie vermöge eigener Bewegung und Parallaxe fortgehen, kennen gelernt habe. Er bemerkt ferner, daſs in der Milchstraſse viele Fälle vorzukommen scheinen, wo die Nähe zweier Sterne nur scheinbar ist, wo nämlich, bei der unzählbaren Menge hinter einander stehender Sterne, uns ungleich weit entfernte Sterne als Doppelsterne erscheinen. Unter diesen wären daher viele, die keine Aenderung der Stellung zeigen, statt daſs bei isolirten Sternen, welche Doppelsterne sind, sich in den meisten Fällen Aenderung der Stellung wahrnehmen läſst.

Struve zeichnet unter den vielen von ihm genau beobachteten Doppelsternen [1], besonders ξ im *groſsen Bäre* und p. 70. im *Ophiuchus*, deren starke gegenseitige Bewegung auch Herschel schon bemerkt hatte, als vorzüglich bemerkenswerth uns. Der Doppelstern ξ im groſsen Bäre besteht aus einem Sterne vierter bis fünfter und aus einem Sterne sechster Gröſse; ihre Entfernung ist $2\frac{1}{2}$ bis $2\frac{3}{4}$ Secunden. Von 1781 bis 1822 hat der Stellungswinkel sich um 240 Grade geändert, und zwar in den letzten Jahren dieses Zeitraumes am stärksten, (nach South jetzt jährlich 7 Grade) [2]; die Umlaufszeit läſst sich also wohl auf weniger als 60 Jahre angeben. Wenn man nach Herschel's allgemeiner Bestimmung die Sterne vierter bis sechster Gröſse etwa 8 mal so entfernt als die nächsten Sterne setzt, so könnten diese Sterne nur höchstens $\frac{1}{16}$ Secunde Parallaxe haben, und ihr Abstand von einander wäre 40 mal so groſs, als die Entfernung der Erde von der Sonne; ein Planet unserer Sonne würde in diesem Abstande 250 Jahre zu seinem Umlaufe nöthig haben, und man kann also in jenem schnellen Umlaufe Grund genug finden, um die Masse jener Sterne für viel gröſser als die Masse unserer Sonne anzunehmen.

Der Doppelstern p. 70. des *Ophiuchus* besteht aus einem weiſs-gelblichen Sterne vierter und einem rothen Sterne siebenter Gröſse, der Abstand beider ist $5\frac{1}{2}$ Sec. und seit Herschel's

---

1 Observat. astronomicae. Vol. II. p. 177. 179. Vol. IV. p. 187. 188.

2 Ph. Tr. 1826. 332.

erster Beobachtung hat sich in 42 Jahren der Stellungswinkel beinahe um 300 Grade geändert, so dafs ein ganzer Umlauf bald beendigt seyn wird. Die Beobachtungen von South und dem jüngern Herschel bestätigen dieses[1], und fügen die wichtige Belehrung hinzu, dafs die Winkelbewegung, welche eine Zeit lang bedeutend schneller geworden war, jetzt stark im Abnehmen ist; die letzteren Beobachter glauben auch die Behauptung beifügen zu können, dafs der Abstand beider Sterne von einander jetzt im Zunehmen ist, so wie es die abnehmende Winkelgeschwindigkeit nach den Attractionsgesetzen fordert. Wenn wir diesen beiden Sternen zusammen eben die Masse beilegen, wie unserer Sonne, so müfste der wahre Abstand beider von einander 13 bis 14 mal so grofs, als der Abstand der Erde von der Sonne seyn, und die Parallaxe dieser Sterne könnte etwa $\frac{1}{3}$ Sec. betragen, wollten wir sie aber nach ihrer scheinbaren Gröfse in viel gröfsere Entfernung hinaus gerückt annehmen, so müfste ihre Masse sehr viel gröfser, als die Masse unserer Sonne seyn.

Die neuesten Beobachtungen von South und dem jüngern Herschel fügen zu diesen wichtigen Belehrungen noch manches Neue, indem sie theils eine grofse Anzahl von Doppelsternen kennen lehren, welche seit 40 Jahren ihre Stellung gar nicht verändert haben, theils aber auch das eben Angeführte bestätigen[2]. Einzeln kommen hier auch solche Fälle vor[3], wo der eine Stern sich von dem andern, vermöge eigener Bewegung des einen, ganz entfernt, und wo also der eine vermuthlich viel näher als der andere seyn mufs, so dafs diese Doppelsterne vielleicht durch ihre in verschiedenen Jahreszeiten ungleichen Abstände von einander uns eine Parallaxe des näheren Sternes zeigen könnten.

Durch South's und Herschel's Beobachtungen lernen wir ζ des Krebses als ein System von drei Sternen kennen, die ihre gegenseitige Lage ändern[4], und so bieten diese Beobachtungen

---

1 Ph. Tr. 1826. 371.

2 Ph. Tr. 1824. III. 20. 1826. 1.

3 z. B. Ph. Tr. 1826. 279.

4 Ph. Tr. 1826. 326. Ueber mancherlei mögliche Bewegungen in solchen zusammengesetztern Systemen hat Herschel Untersuchungen, die jedoch lange nicht erschöpfend sind, angestellt. Herschel's Schriften I. S. 183.

sehr viel Beachtenswerthes dar, was ich indeſs, da bei Einzelnem lange zu verweilen hier nicht möglich ist, übergehe[1].

Ob diejenigen Sterne, die als vielfache Sterne nahe b[illegible] ander erscheinen, wirklich in Verbindung stehen, dar[illegible] uns noch genaue Bestimmungen. Man kann die Frage [illegible] weiter ausdehnen und fragen, ob die so nahe zusammenst[illegible] den zahlreichen Sterne der Krippe im Krebse, des Degengriffs in der Hand des Perseus, selbst die Sterne im Haar der Berenice nicht zu einem System verbundene, einander nahe Sterne seyn könnten. Wenn sie dieses sind, so müſste sich aber ohne Zweifel theils eine gemeinschaftliche scheinbare Bewegung, vermöge der wohl nicht zu bezweifelnden eigenen Bewegung unseres Sonnensystems, theils eine relative Bewegung gegenseitiger Umläufe wahrnehmen lassen; so lange die Beobachtungen uns diese nicht zeigen, haben wir keinen Grund, sie als näher verbunden anzusehen, und können daher solche Bestimmungen, wie die von Herschel angegebenen, über den Sternhaufen im Perseus als sehr wahrscheinlich annehmen. Was diejenigen Sternhaufen betrifft, die selbst in Fernröhren nur durch ihren vereinigten Glanz sichtbar werden, so verspare ich die dahin gehörigen Angaben für den Artikel *Nebelflecke*.

Veränderliche Sterne.

Wenn wir unsere jetzige Bestimmung des scheinbaren Glanzes verschiedener Sterne mit den Bestimmungen älterer Astronomen vergleichen, so finden sich manche merkwürdige Verschiedenheiten. Olbers bemerkt z. B. daſs α im Drachen, δ im groſsen Bären (den Bayer noch dem Sterne β gleich angab) und β des Adlers eine Abnahme des Lichtes erlitten zu haben scheinen, statt daſs σ des Schützen und ϵ des Pegasus vielleicht heller geworden sind[2]. Andere Sterne scheinen eine andere Farbe angenommen zu haben, denn Sirius, den Seneca[3] roth, wie

---

1 Herschel's Verzeichnisse von Doppelsternen. Phil. Tr. 1782. 1785. Beobachtungen von Bessel in Schumacher astron. Nachr. IV. 301. Struve's neue Doppelsterne, in Schumacher astron. Nachrichten IV. 65.

2 Astron. Zeitschrift von v. Lindenau etc. II. 182.

3 Quaest. natur. I, 1. acrior caniculae rubor Martis remissio Phil. Tr. 1760. 498.

Mars, nannte, ist jetzt gewiſs von allem vorherrschenden Roth vollkommen frei. Herschel hat, um künftigen Zeiten die Vergleichung des Glanzes, welchen uns einzelne Sterne in unserer Zeit darbieten, getreu aufzubehalten, für eine groſse Anzahl von Sternen die genauen Angaben, welchen andern Sternen sie gleich sind, welchen sie an Glanze ein wenig nachstehen, vor welchen sie an Glanz einen kleinen Vorzug haben, mitgetheilt, und man wird künftig selbst geringe Unterschiede des zunehmenden oder abnehmenden Glanzes wahrnehmen können[1].

Aber noch merkwürdiger sind die bei manchen Sternen beobachteten periodischen Veränderungen, die darin bestehen, daſs ein Stern zuweilen einen hellern Glanz zeigt, dann schwächer glänzend erscheint, wieder zu der vorigen Lichtstärke zurückkehrt und so beständig abwechselnd gesehen wird. Diese Lichtwechsel kehren bei einigen Sternen sehr regelmäſsig nach gleichen Zeiten wieder, bei andern ist die Periode ungleich, noch andere, die ehemals einen Lichtwechsel gezeigt haben, erscheinen jetzt in unveränderlichem Lichte. Unter denen, die eine sehr regelmäſsige Periode haben, ist *Algol* im Medusenhaupte einer der merkwürdigsten. Er ist ein Stern zweiter Gröſse und zeigt sich die meiste Zeit als ein solcher, aber allemal nach 2 Tagen 20 Stunden wird er auf kurze Zeit viel dunkler. Nach Wurm[2] dauert die Zeit seines kleinsten Lichtes, wo er Sternen vierter Gröſse gleicht, nur 18 Minuten, aber einige Stunden vorher und einige Stunden nachher bemerkt man das Abnehmen und Zunehmen seines Lichtes, so daſs er etwa 8½ Stunden lang dunkler als sonst erscheint. Wurm giebt die mit vieler Genauigkeit zutreffende Periode seines Lichtwechsels zu 2 Tagen 20 Stunden 48′ 58″,7 an, und hat darnach Tafeln berechnet, mit deren Hülfe man leicht die Zeit der kleinsten Lichtphase für jeden gegebenen Monat findet. Um zu zeigen, wie nahe diese vor 30 Jahren berechneten Tafeln noch immer mit der Erscheinung übereinstimmen, habe ich einige neuere Beobachtungen nach denselben berechnet. Luthmer[3] beobachtete 1820 am 14ten Aug. 9 52′ mittl. Zeit und am 6ten Sept. 8 24′

1 Ph. Tr. 1796. 166. 1797. 293. 1798. 121. und Astron. Jahrbuch 1809. 201. Aehnliche ältere Beobachtungen Astron. Jahrb. 1821. 209.

2 Astron. Jahrb. 1801. 157.

3 Ebend. 1824. 243.

mittlere Zeit das kleinste Licht; diese Zeitpuncte sind in Pariser Zeit $9^h\ 22'$ und $7^h\ 54'$. Nach Wurm's Tafeln trifft das kleinste Licht nach Anfang d. J. 1800 $1^T\ 18^h\ 3'\ 46'',8$. Par. mittl. Z.

20 Jahre haben außer ganzen Perioden als ins folgende Jahr gehenden Ueberrest	0 23 56 47,6
Jan. bis Jul. lassen nach ganzen Perioden einen in den August gehenden Ueberrest	0 4 24 23,8,
also kleinstes Licht nach Anfang des August	$2^T\ 22^h\ 24'\ 58'',2$
4 Perioden sind =	11 11 15 54,8
	14 9 40 53,0

also sollte das kleinste Licht nach diesen Tafeln am 14. August $9^h\ 41'$ Abends seyn; aber Wurm selbst hat[1] die Epoche um 5 Minuten früher gesetzt, indem seine frühern Tafeln mehr das Ende als die Mitte des kleinsten Lichtes angaben, also giebt die Rechnung $9^h\ 36'$, statt daſs die Beobachtung $9^h\ 32'$ giebt, welches hier, da eine einzelne Beobachtung nicht auf eine Minute genau ist, vollkommen genügt. Die zweite Beobachtung ist 22 Tage 22 St 32′ nach der ersten angestellt und 22 Tage 22 St 31′ 49″,6 sind gleich 8 Perioden. Rechnet man eben so für den Juli 1825, so findet man

	5 Jul.	18^h	$14'$	$23'',1$	als Zeit des kleinsten Lichts
	8 Tage	14	26	56,1	als 3 Perioden gleich,
also am	14 Jul.	8	41	19,2	Pariser Zeit

die Zeit des kleinsten Lichtes. Diese Zeit ist 9 Uhr 40′ Breslauer Zeit, und wirklich beobachtete ich, als ich gegen 11 Uhr zufällig meine Aufmerksamkeit auf *Algol* richtete, daſs er seinem kleinsten Lichte nahe war, aber wie sich bald zeigte, schon *nach* der kleinsten Lichtphase.

Dieser so auffallende Lichtwechsel ist doch erst von Pigott und Goodrick 1782 bemerkt worden. Andere veränderliche Sterne sind früher entdeckt worden, z. B. von Fabricius 1596 der Veränderliche am Halse des Wallfisches, 1600 ein veränderlicher Stern im Schwan, der oft ganz verschwindet[2]. 1670 wurde ein zweiter veränderlicher Stern im Schwan entdeckt,

---

1 Astron. Jahrb. 1810. 140.

2 Montucla hist. II. 284. 285.

X im Schwan, der nur selten die vierte Gröſse erreicht. Olbers[1] hat diesen letzten Stern öfter beobachtet und bemerkt, daſs nachdem er ihn 1815 mehrere Wochen vergeblich aufgesucht hatte, er am 29. Aug. sichtbar ward, am 7. Oct. sein gröſstes Licht hatte und gegen Ende December's wieder eben so unscheinbar, als bei Anfang seines Sichtbarwerdens, war. Seine Periode, die ungefähr 405 Tage ist, hat sich verlängert, so daſs sie jetzt über 407 Tage ausmacht, statt daſs sie am Ende des siebenzehnten Jahrhunderts noch nicht 405 Tage betrug. Ueberhaupt ist die Periode nicht ganz gleich, sondern zuweilen erscheint der Stern etwas eher oder später, zuweilen erreicht er im gröſsten Glanze nur die siebente, selten dagegen auch wohl die vierte Gröſse; 7 Monate ist er ganz unsichtbar, 6 Monate sichtbar. Olbers bemerkt es als etwas Auffallendes, daſs dieser Stern und daſs mehrere veränderliche Sterne ein sehr rothes Licht haben.

Noch in die Augen fallender als bei diesem Sterne ist der Lichtwechsel des schon erwähnten Sterns im Wallfische, den man den Wunderbaren, *Mira ceti*, genannt hat. Dieser Stern erreicht bei seiner gröſsten Lichtstärke gewöhnlich den Glanz der Sterne dritter Gröſse, zuweilen nur der vierten, aber seltener auch der zweiten und selbst der ersten Gröſse, Wargentin hat ihn einmal dem *Aldebaran* gleich gesehen. Der Stern bleibt 3 bis 4 Monate dem bloſsen Auge sichtbar, und sein Zunehmen dauert kürzere Zeit, als sein Abnehmen; durch Fernröhre sieht man ihn viel länger, obgleich er auch da zuweilen verschwindet. Wurm setzt nach sehr zahlreichen Beobachtungen die Periode zu 332 Tagen und etwa $\frac{1}{4}$ Stunden an, und bestimmt die Zeit des gröſsten Lichtes, oder der Mitte des gröſsten Lichts auf 15. Oct. 1820, wornach diese im Februar 1828 und im Januar 1829 wieder eintreten wird. Die Periode ist nicht genau immer gleich, sondern zuweilen einige Tage länger oder kürzer[2]. Die übrigen als veränderlich bekannten Sterne[3] zeigen sich im Wesentlichen diesen ähnlich.

Ueber die Ursache dieser Lichtwechsel hat man mehrere Hypothesen aufgestellt. Die bei mehreren Sternen so bestimmte

---

1 Astron. Zeitschr. von v. Lindenau etc. II. 181.

2 Ebend. I. 229.

3 Ebend. IV. 185. 316. VI. 282. Astron. Jahrb. 1814. 143.

Regelmäſsigkeit der Periode läſst wohl kaum zweifeln, daſs eine Axendrehung die Ursache dieser gänzlichen oder theilweisen Verdunkelung ist. Selbst unsere Sonne hat ja Flecken, die freilich zu klein sind, um einen erheblichen Lichtwechsel zu bewirken, und zu veränderlich, um in stets gleichen Perioden gleiche Erscheinungen darzubieten; aber es kann ja Sonnen geben, deren verschiedene Seiten auf immer gleiche Weise ein sehr ungleiches Licht darbieten. Ein dadurch nicht zu erklärender Umstand ist, daſs der Fortgang der Lichtabnahme und Lichtzunahme nicht dem gemäſs ist, was wir von einer, nach und nach gegen uns gewandten dunkeln Seite erwarten sollten, indem zum Beispiel bei *Algol* die Lichtabnahme ganz nahe vor dem kleinsten Lichte so sehr merklich, kurz nachher die Zunahme so bedeutend ist, aber während des bei weitem gröſsern Theils der Periode der Glanz ziemlich gleich bleibt. Dieses lieſse sich besser erklären, wenn wir einen sehr groſsen dunklen Körper annähmen, der bei seinen Umläufen um den hellen Stern (oder bei den Umläufen des hellen Sternes um ihn) eine förmliche Sonnenfinsterniſs hervorbrächte; aber diese Erklärung würde doch nicht auf die Sterne passen, die so sehr lange ganz verdunkelt sind, indem doch nicht gut anzunehmen ist, daſs diese Verdeckung den gröſsern Theil der Periode ausfüllte. Die Ungleichheiten in der Periode und in den äuſsersten Graden der Lichtstärke würden sich nach der ersten Hypothese aus Aenderungen auf der Oberfläche des Sterns, nach der zweiten Hypothese aus Ungleichheiten in dem Laufe des verdunkelnden Körpers erklären lassen.

Neue Sterne.

Mit diesem Lichtwechsel der Sterne ist vielleicht das Erscheinen neuer Sterne verwandt. Hätte ein veränderlicher Stern eine sehr lange Periode und wäre die Zeit seines Glanzes nur auf eine kurze Zeit beschränkt, so würde er dem Zeitalter, wo er sich einmal zeigte, als ein neuer Stern erscheinen, und die folgenden Beobachter würden ihn viele Jahre lang vergeblich aufsuchen. Indeſs haben die Sterne, welche man als neue Sterne beobachtet hat, so viel Auffallendes gezeigt, daſs man sie wohl nicht ganz mit den bekannten veränderlichen Sternen in eine Classe stellen darf. Der glänzendste von allen war der von Tycho beobachtete. Aller Wahrscheinlichkeit nach muſs er

sehr schnell zu dem hellen Glanze, den er zeigte, gelangt seyn, denn Möstlin hatte im October und noch am 2. Nov. 1572 die Cassiopeja beobachtet, ohne etwas Merkwürdiges wahrzunehmen, und schon am 7. Nov. erschien der neue Stern dem Jupiter an Glanze gleich oder gröfser; am 11. Nov. sah Tycho ihn der Venus gleich, und so blieb er einige Wochen. Aber nach sehr kurzer Dauer nahm seine Helligkeit ab, im December glich er noch dem Jupiter, im Januar 1573 übertraf er noch die Sterne erster Gröfse, im Februar und März glich er Sternen erster Gröfse und nahm nun so ab, dafs er im September Sternen vierter Gröfse gleich war und im März 1574 verschwand. Anfangs war er glänzend weifs, dann roth wie Aldebaran oder Mars, nachher wieder matter weifs [1].

Einen nicht ganz so glänzenden neuen Stern beobachtete Kepler 1604 am Fufs des Schlangenträgers, der auch nachher unsichtbar ward [2]. Auch in ältern Zeiten hat man solche Sterne beobachtet [3], die nachher unsichtbar geworden sind. Wie man diese ungemeine Veränderung ihres Glanzes erklären soll, läfst sich gar nicht angeben; von Zach bemerkt, sie gäben uns wenigstens die wichtige Belehrung, dafs es im Weltraume Körper gebe, die uns gar nicht oder Jahrhunderte lang nicht sichtbar sind. —

Namen der Sterne.

Das hierher gehörige wird unter dem Art. *Sternbilder* vorkommen. Ueber die Bedeutung der arabischen Namen der Sterne haben Ideler, Lach und Buttmann (auch Montucla an einigen Stellen seiner Geschichte der Mathematik) Untersuchungen angestellt [4]. *B.*

Fixsternverzeichnisse.

Catalogi fixarum; Catalogues des étoiles fixes; *Catalogues of the stars*; sind Verzeichnisse, worin die ein-

---

1 Tychonis Brahe Progymnasmata Astron. Lib. I. de Zach corr. astr. V. 182.

2 Kepler de stella nova in pede serpentarii.

3 de Zach corr. astr. IV. 585. Astr. Jahrb. 1819. 202.

4 Ideler Untersuchungen über den Ursprung und die Bedeutung der Sternnamen. Berlin 1809. 8. Lach Anleitung zur Kenntnifs der arabischen Sternnamen, Leipzig 1796. Astr. Jahrb. 1822. 91. Astr. Zeitschr. II. 50.

zelnen Sterne nach ihrer Stellung am Himmel, nach ihrer Rectascension und Declination, angemerkt sind. Sie sind entweder nach den Sternbildern geordnet, wo dann diejenigen, die zuerst durch den Meridian gehen, voran stehen, oder sie sind ganz allgemein nach der Rectascension geordnet, so dafs man für alle Declinationen die Sterne, welche kurz nach einander durch den Meridian gehen, zusammenfindet. Alle Sternverzeichnisse hier anzuführen, scheint mir nicht dem Zwecke dieses Wörterbuchs gemäfs; ich theile daher nur Einiges zur Geschichte dieser Verzeichnisse, und dann die Titel der für uns bemerkenswerthesten mit.

Hipparchus hat zuerst 150 Jahr vor Christo, nachdem Timochares und Aristyllus schon Beobachtungen dazu gesammelt hatten, ein Verzeichnifs beobachteter Sterne verfertigt, und Ptolemaeus hat darnach und nach eignen Beobachtungen das Sternverzeichnifs verfertigt, welches wir noch jetzt besitzen [1]. Albategnius reducirte dieses Verzeichnifs auf seine Zeit (880 nach Christo), und Ulugh-Beigh verfertigte eines aus eignen Beobachtungen [2]. Tycho de Brahe führte die bessere Methode, die Sterne nach Rectascension und Declination aufzuführen ein, statt dafs man sie früher nach Länge und Breite angab [3].

Auch der Landgraf Wilhelm verfertigte mit Rothmann und Byrge ein solches Verzeichnifs aus eigenen Beobachtungen [4]. Halley und La Caille haben uns zuerst genauere Verzeichnisse der Gestirne um den Südpol gegeben [5]. Hevel gab die früheren Verzeichnisse mit eigenen Beobachtungen vermehrt heraus [6], Flamstead lieferte nach 33jährigen Beobachtungen einen viel vollkommnern Katalog als seine Vorgänger, der 3000

---

1 Μεγάλη Σύνταξις. VII. 2.

2 Tabulae long. et lat. stellarum fixarum ex observ. Ulughbeighi. Oxon. 1665.

3 Catalogus fixarum ad annum 1600, in den Astronomiae instauratae Progymnasm. Frf. 1602. Kepler nahm dieses Verzeichnifs, mit andern Beobachtungen Tycho's und einige Beobachtungen der Sterne um den Südpol vermehrt, in die Rudolphinischen Tafeln auf.

4 Observ. Hassiacae. Lugd. Bat. 1618.

5 Halleji catalogus stellarum australium. Lond. 1679. und von La Caille astronomiae fundamenta novissima solis et stellarum observationibus stabilita. Paris. 1757.

6 Prodromus Astronomiae. Gedani. 1690. und Firmamentum Sobiescianum. Ged. 1690.

Sterne enthält [1], und BRADLEY's Beobachtungen vermehrten nicht bloſs durch ihre Anzahl, sondern auch durch ihre Vortrefflichkeit in hohem Grade unsere Kenntniſs des Sternenhimmels [2]. TOBIAS MAYER beobachtete vorzüglich Sterne, die der Ekliptik nahe stehen, und verfertigte daraus einen, erst nach seinem Tode bekannt gemachten Katalog von 998 Zodiakalsternen [3]. Unter den neuern Beobachtern haben vorzüglich MASKELYNE [4], LALANDE [5], PIAZZI [6], VON ZACH [7], BESSEL [8], POND [9],

---

1 Halley gab ihn zuerst 1712 heraus und 1725 erschien die zweite Auflage: Historia coelestis Britannica. 3 Vol.

2 Astronomical Observations, made at Greenwich by Bradley. Oxf. 1798. 2 Vol. Welchen Werth diese Beobachtungen besitzen, hat Bessel gezeigt in seinem vortrefflichen Werke: Fundamenta astronomiae pro anno 1755, deducta ex obs. viri incomparabilis Bradley. Regiomonti. 1818.

3 Catalogus fixarum zodiacalium in Tob. Mayeri opp. inedit. Vol. I. Dieselben auf das Jahr 1800 reducirt in Astr. Jahrb. 1790. 118.

4 Maskelyne's astronomical observations made at Greenwich. 2 Vol. vgl. Astr. Jahrb. 1808. 246. Maskelyne's Tables for computing the apparent Places of the fixet Stars. 1774.

5 Histoire céleste françoise, contenant les observations, faites par plusieurs astronomes françois publiées par Lalande. An. IX. (1801.) Für die Reduction der hier angegebenen Sterne besitzen wir mehrere Arbeiten, SCHUMACHER's Sammlung von Hülfstafeln. 2tes Heft. Copenh. 1825. Ferner in DE ZACH Corr. astron. VII. 340. Ferner in Schumacher's astr. Nachr. I. 22. 273.

6 Praecipuarum stellarum inerrantium positiones mediae, ineunte seculo 19, ex obs. habitis in specula Panormitana. Panormi 1803, und neue Ausgabe 1814. Verzeichniſs der geraden Aufsteigung und Abweichung von 5505 Sternen nach Piazzi's Beobachtungen und von 372 der vornehmsten Nebelflecke und Sternhaufen, zusammengetragen von BODE. Berlin 1805. WESTPHAL's Astrognosie, mit einem Auszuge aus Piazzi's zweitem Katalog. Berlin 1822.

7 De Zach tabulae motuum solis etc., quibus accedit fixarum praecipuarum catalogus novus. Gothae 1792 neue Ausgabe 1804. De Zach Tabulae speciales aberrationum et nutationum ad supputandas stellarum fixarum positiones, cum 494 stellarum inerrantium catalogo novo. Gothae 1807. De Zach nouvelles Tables d'Aberration et de nutation pour 1404 étoiles. Marseille 1812.

8 Bessel's astronomische Beobachtungen auf der Sternwarte in Königsberg. 9 Abtheilungen von 1813 bis 1823.

9 Pond's astronomical observations. London. (1814 bis 1821) in 8 Theilen.

Struve [1], Littrow [2] sich um diese Bestimmungen verdient gemacht [3].

Unter denen, welche aus fremden Beobachtungen mit ungemeinem Fleiſs zusammengetragen haben, verdient vor allen Bode erwähnt zu werden, der nicht allein dieses gethan, sondern zugleich die fremden Beobachtungen geprüft und mit zahlreichen eignen Beobachtungen die schon vorhandenen Verzeichnisse bereichert und berichtigt hat [4].

Wir dürfen hoffen, daſs die Reichhaltigkeit der Sternkataloge in Kurzem noch sehr gewinnen wird, da die Berliner Akademie die Mitwirkung aller Astronomen zu einer Revision des ganzen Himmels aufgefordert hat, um besonders die Ungleichförmigkeit zu heben, die bisher noch in unsern Verzeichnissen vorhanden war, da einzelne Gegenden genauer durchforscht waren, während in andern selbst minder kleine Sterne in den Verzeichnissen fehlten [5].

Eine besondre Erwähnung verdienen hier noch die Bemühungen für die genaue Bestimmung einiger Fundamentalsterne, durch deren völlig sichere Kenntniſs man Anknüpfepuncte für alle andern Beobachtungen erhält. Maskelyne hat ein Verzeichniſs von 36 solchen genau bestimmten Fundamentalsternen mitgetheilt [6], auf deren sorgfältige Beobachtung und immer strengere Berichtigung Bessel vorzüglich groſsen Fleiſs gewandt.

---

1 Struve observationes astronomicae Dorpati institutae. 4 Vol. (1814 bis 1823.)

2 Annalen der Wiener Sternwarte. 3 Abtheilungen.

3 Auch die Observations astronomiques publiées par le bureau de longitudes, gehören hierher, und mehrere andere, die minder wichtig für diesen Zweck sind.

4 Allgemeine Beschreibung und Nachweisung der Gestirne, nebst Verzeichniſs der geraden Aufsteigung und Abweichung von 17240 Sternen, Doppelsternen, Nebelflecken und Sternhaufen, von Bode. Berlin 1801. Fol. Vorstellung der Gestirne auf 34 Kupfertafeln, nebst einem Verzeichnisse von 5877 Sternen, Nebelflecken und Sternhaufen, von Bode. 2te Aufl. Berlin 1805. Nachträge und Berichtigungen dazu an mehrern Stellen in den astronomischen Jahrbüchern.

5 Auch die Astron. Societät in London macht sich um diesen Gegenstand durch Herausgabe eines neuen Katalogs verdient.

6 Naut. Alm. 1820. Astr. Jahrb. 1821. 208. Bemerkungen von Pond über die möglichst strenge Berichtigung der Sternkataloge Phil. Transact. 1818. 405.

hat [1]. Auch Pond und Brinkley haben sich mit diesen Beobachtungen ernstlich beschäftigt [2]. Von den Sterncharten wird ein eigner Artikel Nachricht geben. *B.*

Flächenkraft.

Flächenanziehung und Flächenabstofsung; Attraction et Repulsion de surface.

Der Ausdruck: *Flächenkraft*, noch mehr *Flächenanziehung*, seltener *Flächenabstofsung* kommt sehr oft bei deutschen Schriftstellern vor, und die Ausländer reden häufig von der Sache, wenn sie dieselbe auch nicht durch ein bestimmtes Wort bezeichnen. Ohne nähere Andeutung ist dann die Flächenanziehung so viel als *Anziehung in unmittelbarer Berührung* oder in unmefsbare Ferne, und äufsert sich in den Erscheinungen der *Adhäsion* und *Cohäsion* [3]. Man könnte hierdurch zu der Vermuthung verleitet werden, als ob der Ausdruck von der Flächenausdehnung entlehnt sey, in welcher die Berührung beider sich einander anziehender Körper stattfindet, allein dieses würde von der Schärfe der eigentlichen Begriffsbestimmung entfernen. Genau genommen beruht die Sache vielmehr auf Folgendem, wie hauptsächlich aus der Darstellung von Fries [4] am deutlichsten und vollständigsten zu ersehen ist.

Die bekannte Newton'sche Anziehung ist den Massen der einander anziehenden Körper direct proportional, wird daher durch die Quantität der wirksamen Masse bedingt, und kann als im Mittelpuncte der Körper vereinigt angesehen werden. Die Erfahrung ergiebt, dafs diese Kraft in jede mefsbare Ferne wirkt, und den Quadraten des Abstandes proportional abnimmt. Kommen daher zwei Körper (es mögen dieses Kugeln seyn) einander nahe, so wird ihre Anziehung wachsen, und in der Berührung ihr Maximum erreicht haben; allein die wirksame Kraft geht bei ihnen stets vom Mittelpuncte aus oder kann mindestens als dort vereinigt gedacht werden, und man könnte sie daher auch *Mas-*

---

1 Beobachtungen 5te Abth. S. V. und XI. und 7te Abth. S. XXIX. und astr. Jahrb. 1828. 196.

2 Astr. Nachrichten I. 101. Astr. Jahrbuch 1828. S. 198.

3 S. unter andern Parrot Grundrifs der theor. Phys. I. 44. Entretiens sur la Physique I. 93 ff.

4 Mathemat. Naturphilosophie S. 450 ff.

senkraft, *Körperkraft* nennen. Insofern aber die anziehende Kraft vom Mittelpuncte ausgehend oder dort vereinigt angenommen wird, und den Massen proportional ist, kann nicht gesagt werden, dafs sie sich aufserdem noch in den berührenden Flächen besonders äufsere.

Bei einer Menge von Erscheinungen dagegen, namentlich der Adhäsion und Capillarität, haben die Massen durchaus keinen Einflufs, vielmehr ist die wirkende Kraft blofs in einer unmerklich dünnen Fläche vorhanden [1], und sie wird daher mit Recht *Flächenkraft* genannt. Wenn man also genöthigt ist, in Gemäfsheit unzweifelhafter Thatsachen eine solche Flächenkraft anzunehmen, so darf man auf allen Fall, in nächster Beziehung auf die blofsen Phänomene, sich dieses Ausdruckes zur Bezeichnung der Erscheinung und der sie unmittelbar bewirkenden Ursache bedienen; bei genauerer Erörterung des Gegenstandes kommen aber zwei wesentliche Fragen in Betrachtung, nämlich *zuerst* ob die sich auf die angegebene Weise äufsernde Kraft der Anziehung eine für sich bestehende und von der Massenanziehungskraft wesentlich verschiedene sey, und *zweitens* ob es aufser und neben dieser auch noch eine ihr entgegengesetzte abstofsende gebe, so dafs also dadurch der Ausdruck: *Flächenkräfte* gerechtfertigt wäre.

Rücksichtlich auf die erstere Frage scheint unter andern hauptsächlich Fries anzunehmen, die Existenz der Flächenkräfte könne durch Hülfe der Geometrie erwiesen werden, allein die Geometrie kann blofs nachweisen, dafs die Annahme solcher Kräfte keinen Widerspruch in sich schliefse, und bei vorausgesetzter Möglichkeit die Art und Weise ihrer Wirkungen demonstriren; die wirkliche Existenz aber kann auf diesem Wege nicht bewiesen werden, sondern mufs einzig und allein durch die Erfahrung gegeben seyn. Auf gleiche Weise kann die Mathematik die Bewegungsgesetze eines durch hypothetische Kräfte der verschiedensten Art in einem absolut leeren Raume bewegten Körpers demonstriren, auch schulgerecht nachweisen, dafs ein gewisses widerstehendes Mittel stets dünner werden und endlich ganz schwinden könne; allein ob es solche Bewegungsgesetze und einen absolut leeren Raum wirklich gebe, ist damit

1 Vergl. *Capillarität*. II. 39.

noch keineswegs dargethan. So hat L. EULER[1] das Mariotte'sche Gesetz aus dem von ihm angenommenen Aether und dessen Wirbeln in den hypothetischen hohlen Luftkügelchen geometrisch vortrefflich demonstrirt, aber niemand wird deswegen geneigt seyn, solche Wirbel und Kügelchen wirklich anzunehmen. Die Vertheidiger der Existenz von Flächenkräften behaupten indefs, es seyen dieselben durch die Erfahrung gegeben, indem die Erscheinungen der Cohäsion, Adhäsion und Capillarität nur aus ihnen erklärt werden könnten, insofern bei ihnen die Massen gar nicht, sondern nur die Flächen sich als thätig ergäben, und LA PLACE sagt selbst, die Kraft, welche die Erscheinungen der Capillarität erzeuge, liege in der unmefsbar dünnen Oberfläche der Körper. Dieser Beweis würde volle Gültigkeit haben, wenn eine geometrische Fläche noch ein Gegenstand physischer Messung wäre; allein da die Theilchen der Materie erweislich viel kleiner sind, als unsere Messung reicht, so bleibt es immer fraglich, ob die eigentliche geometrische Oberfläche der Körper, und nicht vielmehr eine physische Fläche, oder ein in einer unmefsbar dünnen Ebene liegendes Aggregat von Körperelementen jene Erscheinungen hervorrufe. Wenn dann aber weiter argumentirt wird, dafs die Phänomene selbst nichts anderes seyen, als das Resultat einer Anziehung in unmefsbare Fernen, statt dafs die Anziehung der Massen dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sey, und dafs jene daher mit dem besonderen Namen der Anziehung in der Berührung, die ihr zum Grunde liegende Kraft aber Flächenkraft zu benennen sey, so läuft die Entscheidung hierüber auf die schon wiederholt erörterte Frage hinaus, ob alle Anziehungsphänomene auf eine einzige wirkende Kraft zurückgeführt werden können oder nicht[2]. Wenn gleich hierüber noch nicht mit völliger Gewifsheit entschieden ist, so läfst sich doch so viel als ausgemacht annehmen, dafs die Erscheinungen der Anziehung in der Ferne von denen der Anziehung in der Berührung erweislich verschieden sind, und dafs man auf allen Fall annehmen müsse, eine einzige Kraft werde durch die individuelle Beschaffenheit der in den einzelnen Körpern verschiedenen Elementartheilchen besonders *modificirt*, damit sie beide Wirkungen hervorbringen kön-

---

1 Com. Pet. II. 347.

2 Vergl. *Anziehung*.

nen, so dafs hiernach also der Annahme einer auf eigenthümliche Weise sich äufsernden *Flächenanziehung* und einer hiernach zu benennenden *Flächenkraft* kein bedeutendes Argument entgegenstehen kann.

In Beziehung auf die zweite Frage, nämlich ob es aufser der Anziehung in der Berührung auch noch eine ihr entgegenstehende *Abstofsung* in geringe Fernen giebt, mithin zwei Flächenkräfte anzunehmen sind, ist zuerst zu bemerken, dafs verschiedene Schriftsteller nur von *einer* Flächenkraft als Ursache der Cohäsions- und Adhäsions-Phänomene reden, andere, dagegen, z. B. Kastner [1], Fries [2] halten die Annahme von *zwei* einander entgegengesetzten Flächenkräften für richtiger. Der Grund, worauf diese Behauptung gestützt wird, ist theils speculativ, insofern einer anziehenden Flächenkraft auch eine abstofsende in Gemäfsheit eines nothwendigen Gegensatzes entgegenstehen müsse; theils aus der Erfahrung entlehnt, indem behauptet wird, dafs die namentlich bei gasförmigen Körpern stattfindende Repulsion auf gleiche Weise in der Berührung und in unmefsbare Entfernung wirke, als die Attraction, welche die Erscheinungen der Adhäsion und Cohäsion erzeuge, folglich auch mit gleichem Rechte auf eine Flächenkraft zurückzuführen sey, als diese aus einer solchen hergeleitet werde. Was das erste Argument betrifft, so ist dieses ganz unhaltbar, denn die Anziehung in die Ferne ist wohl über allen Zweifel hinaus fest begründet, allein es ist deswegen noch niemanden in den Sinn gekommen, die Nothwendigkeit einer ihr entgegenstehenden Abstofsung demonstriren zu wollen; das zweite Argument aber beruhet auf der Erklärung derjenigen Phänomene, welche die gasförmigen Körper uns darbieten, und auf der Bestimmung der Ursachen, welche den verschiedenen Aggregatzustand der Körper bedingen, je nachdem sie entweder fest oder tropfbar oder elastisch flüssig erscheinen, und wird daher am besten in den Artikeln *Flüssigkeit* und *Gas* näher untersucht werden. *M.*

Flamme; S. Verbrennen.

---

1 Grundrifs der Experimentalphysik. 2te Aufl. Heidelb. 1820. I. 76.

2 Lehrbuch der Naturlehre. Jena 1826. I. 7. Dessen mathematische Naturphilosophie. Heid. 1822. S. 454 ff.

Flasche.

Geladene Flasche, Kleistische Flasche, Leidner Flasche, Ladungsflasche, Verstärkungsflasche; ***Phiala Leidensis, Phiala electrica, Lagena armata;*** **Bouteille de Leide, Bouteille électrique;** ***Phial of Leide.***

Wenn man einen dünnen sogenannten idioelektrischen, d. h. nicht leitenden, Körper in solche Umstände versetzt, daſs auf den beiden einander gegenüberstehenden Seitenflächen auf der einen Seite sich positive, auf der entgegengesetzten negative E. (welcher Ausdruck der dualistischen Vorstellungsart in die Sprache jeder andern Theorie sich nach dem, was unter dem Artikel: *Elektricität* vorgetragen worden ist, leicht übersetzen läſst) befindet, so heiſst der Körper in diesem Zustande geladen. Man wählt hierzu gewöhnlich gläserne Flaschen, deren inneren Wänden die eine, den äuſseren die andere E. zugeführt wird, woraus sich der Begriff der geladenen Flasche und der Ladung derselben als desjenigen Vorganges, durch welchen diese Anhäufung entgegengesetzter E. an zwei solchen einander gegenüberstehenden Flächen zu Stande kommt, von selbst ergiebt. Man kann aber statt der Flaschen eben sowohl Platten, z. B. eine Tafel von gemeinem Fensterglase, von Holz oder Siegellack wählen, welche alsdann geladene elektrische Platten heiſsen[1]. Ja man kann selbst flüssige Nichtleiter wie Oel, und selbst eine Luftschicht auf diese Art laden. Sobald die E. beider Seiten, welche durch die Zwischenlage des nicht leitenden Körpers getrennt waren, durch irgend ein Mittel vereinigt, oder so nahe zusammengebracht werden, daſs sie das zwischenliegende Mittel durchbrechen können, so gehen sie in einander mit einer starken Explosion über, oder (um einen zu jeder Theorie passenden Ausdruck zu gebrauchen) gleichen sich mit einander unter einer solchen Explosion aus. Diese heiſst der *elektrische Schlag*, die *elektrische Erschütterung*, und der ihn bewirkende Vorgang die *Entladung*, das *Losschlagen*, so wie der Versuch in seiner Totalität der *Kleist'sche* oder *Leidner Versuch* (*experimentum Leidense*, expérience de Leide), und der In-

1 S. *Quadrat, elektrisches.*

begriff der dabei vorkommenden Erscheinungen die *verstärkte Elektricität* genannt wird.

Es soll in diesem Artikel zuerst von der Zubereitung und den verschiedenen Arten der Leidner Flaschen, dann von ihrer Ladung, Entladung und den dabei vorkommenden Erscheinungen gehandelt, hierauf die Geschichte des Leidner Versuchs erzählt, die Erklärung der Erscheinungen nach den verschiedenen Theorieen gegeben, und der Beschluſs mit der Erörterung einiger mit der Leidner Flasche angestellten Versuche, auf welche man sich vorzüglich zur Unterstützung der Theorie einer einzigen el. Materie berufen hat, gemacht werden.

I. Bereitung und verschiedene Einrichtungen der Leidner Flasche.

Der tauglichste Nichtleiter zu den Ladungsversuchen ist unstreitig das Glas. Diejenigen Sorten Glas werden den Vorzug verdienen, welche die besten Nichtleiter sind, also das härtere Glas vor dem weicheren, doch kommt es hierbei auf eine strenge Auswahl nicht an, da auch das weichste Glas durch seine Masse hindurch wenigstens ein vollkommener Nichtleiter ist, und der Fortleitung der E. an seiner Oberfläche durch gewisse demnächst anzugebende Mittel abgeholfen werden kann. Doch sagt Cavallo [1], daſs eine Sorte Glas, die demjenigen gleich kommt, aus welchem die Florentiner Bouteillen gemacht werden, wegen einiger unverglaster Theile in ihrer Substanz nicht die geringste Ladung aushalten. Wilke bemerkt, daſs weiſses Glas bei gleicher Dicke und sonst gleichen Umständen sich nicht so stark laden lasse, als grünes [2], und Cuthbertson [3] fand, daſs verschiedene Arten des weiſsen und noch viel mehr des grünen Glases bei gleicher Dicke und Gröſse der Belegung ganz verschiedener Mengen von E. bedürfen, um gleich stark geladen zu werden. Die Dicke des Glases kommt hierbei sehr in Betrachtung; ein dünnes Glas kann bei gleicher Oberfläche leichter und stärker geladen werden, als ein dickes, es ist aber auch der Gefahr mehr ausgesetzt, durch die Gewalt, womit sich die E. beider

1 I. 138.
2 Schwed. Abh. XX. 245.
3 Gilb. An. III. S. 27.

Seiten mit einander zu verbinden streben, bei allzustarker Ladung durchbrochen zu werden. Man kann daher die sehr dünnen Flaschen oder Platten zwar einzeln gebrauchen, wenn man aber mehrere mit einander verbinden will [1], so muſs man stärkeres und wohl abgekühltes Glas dazu nehmen. Nach Bohnenberger [2] sollte man die Glasesdicke der Ladungsflasche nach der Stärke der Maschinen einrichten. Starke Maschinen laden dicke Gläser auf einen hohen Grad, den die dünnen gar nicht aushalten. Durch schwache Maschinen kann man in dicke Gläser gar keine merkliche Ladung bringen. Diese Verhältnisse werden sich weiter unten aus dem Vorgange der Ladung selbst leicht erklären lassen, und es ist ein bloſses Miſsverständniſs, wenn daraus gefolgert worden, daſs dickeres Glas überhaupt eine stärkere Ladung annehme, als dünneres Glas, ein Irrthum, in welchen Bohnenberger selbst gefallen war [3].

Der Glimmer hat darin vor dem Glase den Vorzug, daſs er auch in den dünnsten Blättchen selbst bei der stärksten Ladung dem Durchbruche der E. widersteht, auch gewährt er eben wegen der Dünnheit, in der man ihn anwenden kann und davon abhängigen groſsen Capacität den Vortheil, in einem sehr kleinen Raume eine Batterie von groſser Wirksamkeit aufstellen zu können, wie denn Nicholson [4] eine solche Batterie von 12 Glimmerblättchen ausgeführt hat, die zusammen nur eine Dicke von 3 Linien hatten, bei denen die Belegung des einzelnen Glimmerblättchens nur 2 Quadratzoll betrug und welche dennoch das Aequivalent von 7 Quadratfuſs Belegung von Fensterglas waren; indeſs ist der Glimmer in unversehrten Platten nicht so leicht zu erhalten und zum gewöhnlichen Gebrauche zu kostbar. Für Batterieen nimmt man gewöhnlich groſse cylindrische oder sogenannte Zuckergläser, die auf Glashütten bis zu einer Höhe von zwei Fuſs und selbst darüber, und von einer Weite von 8 bis 12 Zoll verfertigt werden, und entweder gleichweit oder oberwärts etwas verengt sind. Man kann sich indeſs solcher Flaschen auch einzeln von verschiedener Gröſse und Weite be-

---

1 S. *Batterie, elektrische.*

2 S. dessen Beiträge zur theor. u. prakt. Elektricitätslehre. 2tes Stück. Stuttg. 1793.

3 S. dessen 5te Fortsetzung von Elektrisirmaschinen und el. Versuchen S. 241.

4 Gilb. Ann. XXIII. 272.

dienen. Für kleinere Versuche sind die gewöhnlichen Arzneigläser brauchbar.

Weil das Glas, so wie alle Nichtleiter, die mitgetheilte E. nur zunächst an der berührten Stelle annimmt, und erstere von den einzelnen Puncten aus, an welchen sie dem Glase mitgetheilt wird, sich nur mit Mühe über dessen Oberfläche verbreitet, so muſs man die beiden Flächen mit einem recht guten Leiter z. B. Zinnfolie, Gold- oder Silberblättchen, Gold- oder Silberpapier, Messing- oder Eisenfeilspähne u. d. g. überziehen, welches die Belegung derselben genannt wird. Deswegen heiſst die Ladungsflasche oft auch die *belegte* oder *armirte* Flasche. Dieses verschafft den Vortheil, daſs die mitgetheilte E., wenn sie auch nur auf eine einzelne Stelle geleitet wird, sich dennoch sogleich über die ganze belegte Fläche ausbreitet, und bei der Entladung eben so auf einmal herausgeht. Bei einer solchen Flasche muſs auch der Boden CD von aufsen und innen belegt seyn. Die Belegung mit dünner Zinnfolie (sogenanntem Stanniol) ist unstreitig die beste und läſst sich, wenn die Flasche ganz cylindrisch oder im Obertheile nur wenig verengert ist, sowohl auswärts als auch einwärts vermittelst Gummiwassers oder gewöhnlichen Kleisters leicht anbringen, welchen letzteren man nur sehr dünn aufträgt, so daſs nirgend Klümpchen oder Luftblasen zurückbleiben. Sogenanntes Silberpapier kann auch sehr gut die Stelle der Zinnfolie vertreten und nach der Erfahrung von John Brook würde es sogar den Vorzug verdienen, da dieser gefunden haben will, daſs Flaschen vor dem Zerbrechen durch einen durch das Glas durchschlagenden Funken am besten gesichert werden können, wenn man die Zinnfolie nicht unmittelbar auf das Glas leime, sondern erst mit gewöhnlichem Schreibpapiere und darauf mit der Zinnfolie die Flasche belege. Daſs Flaschen oder Glastafeln durch eine weit geringere Ladung, gleich nachdem sie belegt und also ehe sie trocken geworden sind, zersprengt werden, als wenn sie schon lange genug gestanden haben, so daſs die Flüssigkeit aus dem Gummi oder Kleister, womit die Zinnfolie aufgetragen wird, hat verdunsten können, und daſs man eben deswegen die Flaschen nicht gleich nach ihrer Belegung anwenden dürfe, wie Brook[1] gefunden haben will, habe ich nicht bestätigt gefunden, doch

Fig. 53.

1 G. I. 276.

habe ich diese Versuche vergleichungsweise nur bei Flaschen von dickem Glase angestellt.

Hat die Flasche, wie namentlich die Medicingläser, einen dünnen Hals, so läfst sich dieselbe auf der inneren Fläche nicht so wie aufsen mit Stanniol belegen. In diesem Falle füllt man kleine Flaschen, so weit die Belegung gehen soll, mit Eisen oder Messingspähnen, auch mit Schrot oder einer gesättigten Auflösung von Kochsalz an, in gröfseren aber, die dadurch etwas zu schwer würden, giefst man etwas Gummiwasser, schüttelt ein wenig Messingspähne hinein, und schwenkt die Flasche, bis sich die Spähne dicht an die inneren Wände angelegt haben, wo sie durch das Gummiwasser ankleben. Die innere Seite solcher enghalsigen Flaschen mit einem Kitte aus Pech, Harz und Wachs, welcher mit einer grofsen Menge von Messingfeilicht versetzt ist, zu belegen, den man in Stücken hineinbringt, und durch Schmelzen, so weit man will, auf der innern Fläche verbreitet, ist darum nicht rathsam, weil nach Brook das Glas dann schon durch eine schwache Ladung zersprengt wird. Einer Beobachtung zufolge sollen Flaschen aus grünem Glase, welche 2 Kannen fafsten, inwendig mit Eisenfeilspähnen belegt, und mit Wasser noch etwas über diese hinaus angefüllt, und von aufsen mit unächten Silberblättchen belegt waren, eine besonders starke Ladung annehmen[1].

Die Belegungen beider Seiten des elektrischen Körpers dürfen einander am Rande nicht nahe kommen, sondern müssen durch einen unbelegten Raum des Glases von hinlänglicher Weite von einander abstehen, weil sich sonst die entgegengesetzten E. schon im ersten Anfange der Ladung über den Rand hinweg mit einander vereinigen würden, und die Ladung nie zu einem merklichen Grade getrieben werden könnte. Die Ausdehnung des unbelegten Theiles, welcher bei der Flasche den Raum zwischen EF und GH sowohl aufsen als innen einnimmt, mufs sich überhaupt nach der Glasesdicke der Flasche, der Gröfse der Batterie, zu welcher solche Flaschen genommen werden, und der Stärke der Elektrisirmaschine richten. Ist die Maschine von der Beschaffenheit, dafs man, wenn sie eine Batterie von 10 bis 12 Quadratfufs Belegung vollständig laden soll, nur Flaschen von der Dicke der gewöhnlichen Zuckergläser

Fig. 58.

1 G. XXIV. 330.

laden kann, so ist es genug, wenn man den unbelegten Rand nur zwei Zoll hoch macht, denn dergleichen Gläser sind immer schon stark genug geladen, wenn es so weit gekommen ist, daſs eine Selbstentladung erfolgen kann, und dieses wird dem Experimentator minder unangenehm seyn, als wenn bei gröſserer Ausdehnung des unbelegten Randes eine Flasche zersprengt würde. Hat hingegen die Maschine eine gröſsere Stärke, so daſs man 20 bis 30 Quadratschuh Belegung, wo die Gläser zu gleicher Zeit dicker als gewöhnlich sind, damit zu laden im Stande ist, so darf man den unbelegten Rand des Glases nicht unter drei Zolle seyn lassen. Besitzt endlich die Maschine soviel Wirksamkeit, daſs sie 50 und mehrere Flaschen, deren Glasesdicke 2 Linien beträgt, vollständig laden kann, so muſs der unbelegte Rand nicht unter 4″ hoch seyn, weil sonst eine Selbstentladung erfolgt, ehe die Batterie das Maximum ihrer Ladung erreicht hat. Es ist sehr rathsam, den unbelegten Raum E G B H F durch einen Ueberzug von Siegellack gegen die Feuchtigkeit zu schützen, auch giebt dieser Ueberzug den Flaschen, so wie der ganzen el. Geräthschaft ein sehr nettes, reinliches Ansehen. Das Siegellack wird hierzu im Mörser zerstoſsen, höchst rectificirter Weingeist aufgegossen und der daraus entstandene Brei mit dem Pinsel auf das Glas getragen, das man vorher erwärmt hat. Auch ist Bernsteinfirniſs zu diesem Zwecke sehr tauglich. Brook[1] wollte beobachtet haben, daſs sich dieselbe Flasche viel stärker laden lasse, und die Selbstentladung viel später eintrete, wenn der unbelegte Rand statt recht trocken und rein zu seyn, vielmehr etwas beschmutzt sey, und zwar bestimmt er den Grad und die Art dieser Beschmutzung dahin, daſs man etwas flüssiges Oel oder irgend eine andere nicht leitende, an dem Glase dünne anhängende Substanz z. B. die unmerkliche Ausdünstung der durch Bewegung erhitzten Hand, (die auch einigermaſsen öligter Natur ist) über die Oberfläche des unbelegten Glases reibt, wovon sich der Nutzen besonders dann zeigen werde, wenn der el. Apparat sich in einem warmen und trockenen Zimmer befinde, aber viel weniger in einer kalten Stube, wo weder eingeheizt wird, noch die Sonne hinein scheint. Dieser Einfluſs eines Ueberzuges mit einer solchen leitenden (öligten) Substanz auf Verstärkung der Ladung läſst

---

1 a. a. O. S. 82.

sich allerdings begreifen, da trockenes, vorzüglich aber erwärmtes Glas der E. an seiner Oberfläche keinen so grofsen Widerstand leistet und eine Selbstentladung längs derselben daher früher erfolgen kann, als bei jenem Ueberzuge.

Dagegen ist die Beobachtung Cuthbertson's, dafs die Ladung sehr verstärkt werden könne, wenn der unbelegte Rand mit einem feinen Ueberzuge von Dunst und Staub bedeckt sey, dem ersten Anscheine nach mit den bewährten elektrischen Gesetzen weniger in Uebereinstimmung zu bringen. Cuthbertson bemerkt nämlich[1], er habe gefunden, dafs die Flaschen allezeit eine stärkere Ladung ertrugen, wenn er sie nicht abtrocknete und abrieb. Bei feuchter Witterung sey die Ladung stärker gewesen, als bei trockener, und bei sehr trockener Witterung, wo sich die Flaschen nicht stark laden liefsen, habe er die Ladung immer höher treiben können, wenn er in die Flaschen hineingeathmet habe. Doch führt er weiter hin[2] an, dafs nur ein bestimmter mäfsiger Grad von Feuchtigkeit diesen Dienst leiste, und bei zu vieler derselbe wieder verloren gehe, wie dann eben darum in Holland, vorzüglich im Winter, wo überflüssige Feuchtigkeit in der Luft sey und die Maschinen nicht sehr stark wirken, es unmöglich sey eine Batterie von etwas ansehnlicher Gröfse zu laden. Der Uebersetzer, welcher stets die Flaschen mit überfirnifstem Rande besser laden konnte, als diejenigen, deren Rand mit Feuchtigkeit beschlagen war, meint, das Anhauchen unter den oben angegebenen Umständen habe nicht sowohl durch die Schicht Feuchtigkeit, die dadurch an das Glas gebracht sey, sondern durch das Anhängen der Staubtheilchen, die sich in jedem Zimmer befinden, und das dadurch vermittelt worden, jenen Dienst geleistet, während die dünne Schicht Feuchtigkeit sich durch die Verdunstung bei trockener Witterung wieder verloren habe, denn er habe schon lange gefunden, dafs eine ganz neu mit Siegellack überzogene Flasche anfänglich nicht so gute Dienste that, als nach einiger Zeit, auch dafs sie sich dann aufserordentlich stark laden liefs, ungeachtet sie voll feinen Staubes lag. Indefs hat Cuthbertson[3]

---

1 S. dessen 3te Fortsetzung seiner Abhandlung von der Elektricität d. Uebers. Leipz. 1796. S. 102.

2 S. 134. 135.

1 G. III. 1.

durch spätere Versuche seine frühere Beobachtung bestätigt, indem er fand, daſs dieses Hineinhauchen bei recht trockenem Wetter die Fähigkeit der Flaschen, eine stärkere Ladung anzunehmen, in dem Verhältnisse von 21 : 15 verstärkte, auch eine Erklärung davon gegeben, auf welche ich in der Theorie der Leidner Flasche zurückkommen werde. Auch VAN MARUM[1] bestätigte diese Erfahrungen, indem er fand, daſs seine Batterie unmittelbar nachdem er sie in den Sonnenstrahlen erwärmt hatte, keine so starke Ladung annahm, als einige Stunden nachher, wo der unbelegte Theil der Flaschen in dem stets feuchten Saale der Teyler'schen Stiftung leicht durch Verdichtung von Dunst beschlagen seyn konnte.

Ein wichtiger Theil der Zubereitung einer Flasche ist die vollkommene Zuleitung der E. zur innern Belegung und eine solche Vorrichtung des Zuleiters zu derselben, daſs jene so wenig als möglich zum Ausströmen der E. Veranlassung gebe. Bei Gläsern, die mit einem engen Halse versehen sind, verschlieſst man gewöhnlich die Oeffnung mit einem genau einpassenden, in zerlassenes Wachs getauchten Korkstöpsel. In diesen Stöpsel wird ein Loch gebohrt und ein starker messingner Draht hindurchgesteckt, welcher unten mit einigen dünnen federnden Messingdrähten versehen ist, die sich im Innern vermöge ihrer Federkraft ausbreiten und an die innere Belegung etwas anstemmen. Ist die Flasche inwendig mit Metallspähnen oder Schrot gefüllt, so ist es hinreichend, den einfachen Draht bis in diese Füllung hinabgehen zu lassen. Oben muſs der Draht 6 bis 8 Zoll über die Flasche hervorragen, bei A bekommt er einen Knopf oder eine Kugel von etwa ¾ Zoll Durchmesser bei kleinern Flaschen. Es ist sehr bequem, wenn der Draht oben spitz gemacht, etwas unter der Spitze aber mit Schraubengängen versehen wird, so daſs man die hohle Kugel A nach Gefallen auf- und abschrauben kann. Bisweilen wird auch der Draht am obern Ende krumm gebogen, um die Flasche daran aufzuhängen. Bei Zuckergläsern mit weiter Mündung, wie man sie gewöhnlich zu Batterien gebraucht, ist obige Einrichtung nicht anwendbar. Deckel von mit Siegellack überzogenem Holze oder Korke, wodurch man den Zuleitungsdraht steckte, die sonst in Gebrauch waren, hat man mit Recht verworfen, weil

---

1 G. I. 81. Anm.

sie zu viel Gelegenheit zur Zerstreuung der E. geben. Einen mit Stanniol überzogenen Kork oder hölzernen Fuſs auf den Boden der Flasche aufzukitten, in welchen man den Zuleitungsdraht einschraubte, ist theils beim Aufkitten mit Gefahr für die Flasche verbunden, theils mit der Unbequemlichkeit, daſs der Fuſs leicht wieder losgeht. Die von v. Marum angegebene Einrichtung[1] verdient daher in jeder Hinsicht den Vorzug. Man läſst sich cylindrische Stangen von Holz verfertigen, wie a b von der Dicke von ¾ Zoll und von einer Länge, die durch die Höhe der Flaschen bestimmt wird. Jede Stange ist auf eine runde Scheibe c von 4,5 Z. Durchmesser befestigt, und auf ihr oberes Ende wird ein Messingrohr d e gepaſst, auf welches die Kugel f e, die bei sehr groſsen Flaschen, besonders wenn sie zu Batterien gebraucht werden, anderthalb Zoll im Durchmesser haben kann, aufgeschraubt oder auch nur aufgesteckt wird. Vier Messingdrähte von 0,5 Linien Dicke, die den untern Theil des Messingrohrs berühren, und längs der hölzernen Stange hinaufgehen, laufen über die Oberfläche der Scheibe c hinweg, so daſs sie mit dem belegten Boden des Glases in Berührung kommen. Jede hölzerne Stange ist oberwärts mit einer ähnlichen hölzernen runden Scheibe g g wie unterwärts von 4,5 Zoll Durchmesser versehen, bis auf welche das Messingrohr d hinabreicht. Diese Scheibe hat drei einen halben Zoll dicke längliche Holzstücke, h, h, h, die an ihrer untern Fläche durch Streifen von Leder i, i befestigt sind, welche letztere statt Charnieren dienen. Auf jeder dieser Latten ist ein Ring oder eine Oehse k, k von Messingdraht befestigt, die bei der horizontalen Lage der Latten durch den Einschnitt in der hölzernen Scheibe g hindurchgeht. Indem in dieser Lage die Oehse ungefähr ¼ Z. über die obere Fläche der Scheibe hervorragt, kann man jede der Latten in ihrer horizontalen Lage befestigen, indem man ein kegelförmiges zugeschnittenes Holzstäbchen durch die Oehse hindurchsteckt. Die Holzstäbe oder Latten h, h haben gerade die Länge, daſs wenn sie in ihrer gehörigen Länge horizontal in dem Glase ausgestreckt sind, sie die innere Belegung des Glases berühren. Um die Stange mit dem Zuleitungsrohre in die Flasche einzubringen und zu fixiren, läſst man die Holzstäbe h, h an ihren ledernen Charnieren i, i herabhängen, nachdem man vorher kleine Bind-

Fig. 54.

Fig. 55.

1 Seconde Continuation p. 108.

faden an die Ringe k, k befestigt hat, die durch die Einschnitte der Scheibe g hindurchgehen. Hat man so die Stange mit den Scheiben hineingebracht, so zieht man die Bindfäden in die Höhe, bis die Holzlatten horizontal ausgestreckt sind, und wenn man sie dann vermittelst der durch die Ringe durchgesteckten Keilchen befestigt hat, so ist die Stange selbst in ihrer perpendiculären Lage fixirt. Damit die Scheibe g und die Holzstücke h, h gleichfalls mit zur Ladung des obern Theiles der Flaschen dienen können, sind sie, so wie auch die untere Scheibe, mit Stanniol überzogen. Man übersieht leicht, daſs durch diese Einrichtung eine sehr innige und ausgebreitete Verbindung des Zuleiters mit der innern Belegung vermittelt ist, und daſs diese Einrichtung für jede Art von Zuckergläsern sowohl für die vollkommen cylindrischen als auch für die mit oben verengerter Mündung paſslich gemacht werden kann. Wenn auch der innere Umfang kein vollkommener Kreis ist, so wird man bei der Drehung der Stange doch immer eine Lage finden, in welcher wenigstens zwei der Holzstäbe h, h sich an die innere Wand anstemmen, und dadurch in genaue Berührung mit der innern Belegung kommen, worauf so sehr viel bei der Ladung und Entladung ankommt. Die Holzstangen müssen eine hinlängliche Länge haben, damit das Messingrohr mit seiner Kugel wenigstens noch 6 Zoll über die Mündung der Flasche hervorstehe. Aus eigener Erfahrung habe ich diese Einrichtung sehr praktisch gefunden.

Man sieht übrigens leicht ein, daſs sich die beschrieben Einrichtung der Ladungsflaschen in Nebenumständen noch mannigfaltig abändern läſst. Priestley[1] hat Flaschen von allerlei Gestalt abbilden lassen. Zu etwas gröſseren Versuchen haben aber stets die groſsen Zuckergläser den Vorzug, und mehrere kleinere Flaschen von gleicher Gröſse der Belegung aller zusammengenommen, als die einer einzelnen, lassen sich auch bei gleicher Glasdicke nie so stark laden, wie letztere, weil die Gelegenheiten zur Zerstreuung der E. bei ihnen nothwendig vielfältiger vorkommen müssen.

Wenn die Ladungsflaschen einen Sprung bekommen, so sind sie zum ferneren Gebrauch untauglich, jedoch giebt Ca-

---

1 Geschichte der Elektricität Taf. II. Fig. c — k.

VALLO[1] folgende Methode an, sie wieder brauchbar zu machen. Man nehme vom zerbrochenen Theile die äufsere Belegung ab, erwärme die Flasche an der Lichtflamme (wo aber der Rifs sich sehr leicht weiter verbreiten kann), und tröpfle brennendes Siegellack darauf, so dafs der Sprung damit bedeckt wird und das Siegellack dicker aufliegt als das Glas selbst dick ist. Endlich bedecke man das Siegellack und einen Theil der Glasfläche mit einer Mischung von 4 Theilen Wachs, einem Theile Pech, einem Theile Terpentin, und sehr wenig Baumöl, die man auf ein Stück Wachstaffet streicht und wie ein Pflaster auflegt, worauf man die Flasche von neuem belegt. Nach J. P. FOLKES's Erfahrungen soll es sogar schon zureichen, dafs man auf die Stelle der Flasche, wo sie gesprungen ist, nachdem man zuvor die äufsere Belegung abgenommen hat, gewöhnliches Siegellack ¼ Zoll dick warm aufstreicht[2]. Auch BROOK[3] hat einen Kitt angegeben, der auf die zersprungene Stelle aufgetragen so wirksam seyn soll, dafs bei derselben Flasche ein neuer Durchbruch nicht leicht an der verkitteten, sondern an einer neuen Glasstelle erfolgen wird. Man nimmt 3 Unzen von spanischem Weifs, und erhitzt sie, um alle Feuchtigkeit zu verjagen, in einer messingnen Kelle sehr stark. Wieder abgekühlt wird dieses durch ein sehr feines Haarsieb durchgesiebt, hierauf werden drei Unzen Pech, ¼ Unzen Kolophonium und ¼ Unze Wachs hinzugethan. Das Ganze wird alsdann über einem schwachen Feuer unter häufigem Umrühren fast eine Stunde lang im Flufs erhalten, bis es ziemlich heifs geworden ist. Dann nimmt man es vom Feuer und setzt das Umrühren fort, bis die Masse kalt geworden und zum Gebrauch fertig ist. Nach abgenommener Belegung trägt man diesen Kitt auf die zerbrochene Stelle auf, und belegt diese auf's Neue.

Statt des Glases hat man wegen der Zerbrechlichkeit desselben Flaschen von Porcellan in Vorschlag gebracht, die aber nicht viel weniger zerbrechlich sind. Zu Platten, wozu man aufser dem Glase auch Harz-Compositionen, Schwefel und Siegellack anwendet, hat BECCARIA eine Composition von Kolophonium und gestofsenem Marmor vorgeschlagen, welche zu

---

1 Ph. Tr. Vol. 68. P. II. No. 44. auch vollst. Unterricht I. 170.

2 Cuthbertson 1r u. 2r Theil, S. 302.

3 a. a. O. S. 70.

gleichen Theilen zusammengeschmolzen und auf eine mit Zinnfolie bedeckte Tafel gegossen werden. Viele Versuche dieser Art hat Wilke[1] angestellt, namentlich mit gestoſsenem Schwefel, mit einer dichten Schwefeltafel, mit Lack, Pech und Wachs, welche in bleiernen Formen zu Tafeln geschmolzen waren, mit einem Buche wohl ausgetrockneten Papiers, mit Baumöl, das in einer bleiernen Form sich befand, endlich mit einer Luftschicht. Das Oel nahm hierbei nur eine schwache Ladung an, der Lack bei gleicher Dicke die stärkste und behielt sie auch am längsten. Kleine Risse in den Tafeln hinderten alle Ladung.

Da die gewöhnlichen Flaschen ihre Ladung nur kurze Zeit halten, so hat Cavallo[2] eine Einrichtung angegeben, welche die Ladung über 6 Wochen lang halten soll, und welche unter dem Namen der *Sperrflasche* bekannt ist. Auſser der äuſsern und innern Belegung, welche die Flasche mit allen andern gemein hat, ist in ihrem Halse eine an beiden Seiten offene Glasröhre eingekittet, und diese reicht ein wenig in die Flasche hinein. Sie hat am untern Ende einen Draht, der die innere Belegung berührt. Die gleichsam andere Hälfte des Zuleitungsdrahtes mit dem Knopfe ist in eine andere Glasröhre gekittet, welche fast doppelt so lang, aber enger als die vorerwähnte ist, und zwar so, daſs an einem Ende bloſs der Kopf, am andern Ende nur etwas weniges vom Draht hervorragt. Diese Glasröhre kann man nach Gefallen in die andere hineinstecken, wobei das untere Ende des Drahtes jenen an dem ersten Rohre befindlichen Draht oder noch besser die innere Belegung selbst berühren muſs. Ist diese zweite Röhre in der angegebenen Lage, so kann man die Flasche auf die gewöhnliche Weise laden und entladen. Nimmt man aber nach der Ladung die zweite Röhre mit dem Knopfe und Drahte heraus, so ist die innere Belegung ganz isolirt, und man kann so die Flasche geladen bei sich tragen oder versenden, ohne daſs sie die Ladung sobald verlöre. Donndorf[3] beschreibt diese Flasche mit einigen kleinen Abänderungen umständlich, giebt auch[4] noch eine ähnli-

---

1 Schwed. Abh. für 1758. XX Bd. d. d. Uebers. 241.

2 a. a. O. I. 324.

3 Lehre von der E. Erf. 1784. I Bd. S. 54.

4 Ebend. S. 61 f.

che Einrichtung für etwas grössere Flaschen an. Auch Singer[1] hat eine Einrichtung zu einer Sperrflasche angegeben, die aber das Unbequeme hat, dass man beim Laden die Flasche umkehren muss. Uebrigens lassen sich mancherlei Einrichtungen einer solchen Sperrflasche leicht ausdenken.

II. Ladung, Entladung und dabei vorkommende Erscheinungen.

1. Ladung und Erscheinungen derselben.

Die Ladung der el. Platten und Flaschen besteht im Allgemeinen darin, dass man der einen Belegung oder Seite die positive oder negative E. mittheilt und in derselben anhäuft unter Verhältnissen, unter welchen sich in der entgegengesetzten Belegung die entgegengesetzte E. anhäufen kann. Ueber die hierbei statt findenden Erscheinungen und überhaupt den ganzen Vorgang wird man am gründlichsten belehrt, wenn man ein Elektrometer zu Hülfe nimmt.

a. Der einfachste Fall der Ladung einer Flasche ist, dass man dieselbe mit einer Hand an ihrer äusseren Belegung anfasst, und mit ihrem Knopfe in eine Entfernung von ungefähr einem halben Zolle von dem Conductor einer in Bewegung gesetzten Elektrisirmaschine bringt; es wird eine Folge von Funken in dieselbe überspringen, die nach und nach schwächer werden und endlich aufhören. Bringt man die Flasche näher, so werden abermals Funken in dieselbe übergehen, und um den Process bis zu seinem Maximum zu treiben, muss man die Flasche mit dem Conductor der Maschine in Berührung bringen, was überhaupt vom Anfange an die günstigste Bedingung für die Ladung ist. Wenn man den Versuch unter Anwendung eines Adams'schen Ladeelektrometers[2] anstellt, so beobachtet man folgendes. Wird das Elektrometer auf den ersten Leiter aufgesteckt, und die Elektrisirmaschine ist nur einigermassen wirksam, so zeigt dasselbe, noch ehe die Scheibe eine ganze Umdrehung durchlaufen hat, das Maximum von Spannung, d. h. der mit der Kugel versehene bewegliche Metalldraht steigt auf 90°. Wird aber dann die Flasche mit demselben Leiter in Ver-

---

1 a. a. O. S. 74.

2 S. *Elektrometer* III. 675.

bindung gebracht, so sind nach Verhältniſs der Gröſse der Belegung mehr oder weniger Umdrehungen erforderlich, ehe das Elektrometer dieselbe Spannung erreicht. Es versteht sich von selbst, daſs derselbe Erfolg eintritt, wenn das Elektrometer auf den Knopf der belegten Flasche selbst aufgesteckt ist, deren Zuleiter und die mit ihr verbundene innere Belegung demnach freie el. Spannung zeigen, die mit der Ladung zunimmt, und die durch das Elektrometer angezeigt wird. Je gröſser die Belegung ist, oder je mehrere mit einander verbundene Flaschen zugleich geladen werden, desto mehr Umdrehungen der Maschine sind nöthig, damit das Elektrometer das Maximum von Spannung erhalte, welches dasselbe überhaupt anzunehmen vermag. Das Elektrometer wird unter keinen Umständen auf eine höhere Spannung getrieben werden können, als dasselbe auch auf dem bloſsen ersten Leiter, wenn keine Ladung vorgenommen wird, anzunehmen im Stande ist, und bei der Ladung von groſsen Batterien wird es selbst diesen höchsten Grad von Spannung selten erreichen, sondern etwas niedriger z. B. auf 70° oder 80° stehen bleiben, wie lange man auch das Umdrehen der Maschine fortsetze.

b. Wenn unter sonst günstigen Umständen für die Ladung z. B. bei trockener kalter Luft, das Elektrometer nicht weiter mehr steigt, so wird man, wenn nicht etwa eine Selbstentladung erfolgt, stets ein deutliches Zischen der aus dem Knopfe der Flasche oder dem Stiele desselben ausströmenden E. vernehmen, welches im Dunkeln mit der Erscheinung eines Feuerpinsels verbunden ist, und die Flasche oder Batterie ist dann auf ihr Maximum geladen.

c. Um die Ladung zu bewirken, ist es eben nicht nöthig, die Flasche in der Hand zu halten, sondern man kann die dadurch vermittelte und zur Ladung unter diesen Umständen nothwendige Verbindung mit dem Erdboden auch dadurch bewirken, daſs man die Flasche auf einen Tisch setzt. Zur schnelleren Ladung groſser Flaschen, vorzüglich aber der gröſsern Batterien, ist es indeſs nothwendig, die Communication mit dem Erdboden noch freier zu machen, indem man eine Kette oder einen Draht von der äuſsern Belegung aus mit dem nach dem Erdboden führenden Drahte der Elektrisirmaschine in Verbindung setzt. Bedient man sich einer Kette, um die Zuleitung von dem Conductor nach dem Knopfe zu machen, so muſs man

wohl darauf sehen, dafs die Glieder derselben überall genau zusammengelöthet und von hinlänglich dickem Drahte seyen, weil ein zu dünner Draht oder die rauhen Enden der Glieder zum frühern Ausströmen Veranlassung geben.

d. Bei dieser Art der Ladung zeigt nur die *eine* Belegung freie Spannung, da die *andere* wegen ihrer Verbindung mit dem Erdboden stets auf 0 bleibt.

e. Alle Erscheinungen zeigen sich auf dieselbe Art, wenn man statt positiv zu laden, negativ ladet, d. h. wenn man mit dem Knopfe der Flasche den isolirten Knopf des Reibzeugs berührt, während die äufsere Belegung mit dem Erdboden in Verbindung ist. Eben so zeigen sich alle Erscheinungen auf dieselbe Weise, wenn man die äufsere Belegung an den Conductor der Maschine legt, während man die Flasche am Knopfe hält, nur zeigt dann die äufsere Belegung die freie el. Spannung und die innere Belegung mit dem Zuleiter zu derselben Zeit nach aufsen 0.

f. Statt die eine Belegung mit dem Erdboden in Verbindung zu setzen, kann man die Ladnng eben so bewirken, wenn man den beiden Belegungen die entgegengesetzte E. aus zwei Elektricitätsquellen unmittelbar zuführt, ein Verfahren, welches den ganzen Procefs der Ladung in ein vorzüglich helles Licht setzt. Dieses läfst sich bei der jetzt allgemein eingeführten Einrichtung der Elektrisirmaschinen, nach welcher das Reibzeug mit einem eigenen isolirten Conductor versehen ist, leicht dadurch bewerkstelligen, dafs man die innere Belegung der übrigens vollkommen isolirten Flasche mit dem positiven, die äufsere mit dem negativen Conductor oder umgekehrt in Verbindung bringt. Hierbei wird sich nun, verglichen mit dem ersten Hauptfalle (a) der Unterschied ergeben, dafs beide Belegungen freie el. Spannung von gleicher Stärke, wenn in der Gröfse und Form des negativen und positiven Conductors soviel möglich Gleichheit beobachtet ist, zeigen, dafs ferner mehrere Umdrehungen der Maschine erforderlich seyn werden, um dieselbe Flasche auf dieselbe Spannung, mit dem gleichen Elektrometer geschätzt, zu laden, dafs folglich auf diese Art geladen dieselbe Flasche bei demselben Stande des Ladungselektrometers, eine gröfsere und zwar, wie sich aus der Theorie der Ladung ergeben wird, eine doppelt so grofse Ladung hat. Bei dieser Art der Ladung kann man sagen, dafs die Flasche sich durch ihre eigene E. lade, da die positive E., wel-

che aus der mit dem Reibzeuge verbundenen Belegung in dieses, und sofort in den positiven Leiter übergeht, von diesem der Belegung, womit letzterer verbunden ist, allmälig zugeführt wird.

g. In den beiden Hauptfällen a. und f. befindet sich die Flasche unter solchen Umständen, daſs, indem der einen ihrer Belegungen E. zugeführt wird, die andere im gleichem Verhältnisse damit gleichnamige E. abgeben und die entgegengesetzte aufnehmen kann. Daſs dieses wirklich während der Ladung statt finde, und nothwendige Bedingung zur Ladung sey, beweiset die Anstellung des Versuchs mit einer isolirten Flasche. Hängt man die Flasche durch eine Kette oder einen Haken an den ersten Leiter, so daſs sie übrigens in der Luft vollkommen isolirt ist, und wird nun abermals das Ladungs-Elektrometer auf den Conductor aufgesteckt, so sind nicht, wie in a., mehrere Umdrehungen der Maschine nöthig, um das Elektrometer auf das Maximum der Spannung zu bringen, sondern diese wird, besonders wenn die Gröſse der Belegung der Flasche gegen die Oberfläche des Conductors der Maschine nicht sehr in Betracht kommt, eben so schnell eintreten, als wenn die Flasche gar nicht damit in Verbindung wäre, und die Flasche wird auf die weiter unten angegebene Weise untersucht, keine merkliche Ladung zeigen. Ist jedoch die äuſsere Belegung der Flasche nicht allenthalben eben und glatt, sondern hat sie Spitzen und rauhe Stellen, so kann doch in diesem Falle eine schwache Ladung eintreten, besonders wenn die Luft feucht ist. Dieses wird um so eher geschehen, wenn man die Flasche statt durch die Luft zu isoliren, auf einen Harzkuchen stellt, besonders wenn derselbe hie und da kleine Risse hat. Wird die Flasche nach der letzten Art des Verfahrens auf eine so vollkommen als möglich isolirende Grundlage, also z. B. auf einen hinlänglich groſsen, recht glatten, und ebenen, Harzkuchen gestellt, und mit ihrem Knopfe dem ersten Leiter etwa auf einen halben Zoll genähert, und der äuſseren Belegung auf dieselbe Weite entweder der Knöchel des Fingers, oder auch ein mit einem Knopfe versehener Messingstab, den man in der Hand hält, genähert, und die Maschine in Bewegung gesetzt, so schlagen eben so wie aus dem Conductor der Maschine auf den Knopf der inneren Belegung aus der äuſseren Belegung auf den Knöchel oder jenen Knopf fortdauernd Funken über, und so wie die Funken vom Conductor aus kleiner werden, und der Knopf demselben darum

mehr und mehr genähert werden muſs, so muſs auch der Knöchel oder jener Messingleiter der äuſseren Belegung mehr und mehr bis zur unmittelbaren Berührung genähert werden. Wird die Flasche positiv geladen, so ist die dem Knöchel oder dem messingenen Leiter mitgetheilte E. gleichfalls positiv, im entgegengesetzten Falle negativ, so daſs für den ersten Anschein die zur innern Belegung geführte E. gleichsam durch das Glas hindurch zu dringen scheint, wenn nicht schon allein der Umstand, daſs die Funken immer kleiner werden, und endlich ganz aufhören, obgleich die Maschine fortdauernd umgedreht wird, auf einen ganz andern Ursprung jener Funken hindeutete.

h. Mit der aus der äuſseren Belegung entweichenden E. läſst sich eine zweite, von dieser aus eine dritte und so fort laden, wobei alle Flaschen einer solchen Reihe vollkommen isolirt seyn können, wenn nur für eine gehörige Verbindung ihrer äuſseren Belegung mit der innern der nächstfolgenden gesorgt ist, und die äuſsere Belegung der letzten entweder mit dem Erdboden oder dem isolirten Reibzeuge der Maschine, an deren positiven Conductor die erste Flasche der Reihe geladen wird, in Verbindung gesetzt ist. Ist kein Luftzwischenraum zwischen den zusammengehörigen Belegungen der auf einander folgenden Flaschen, so geht der Vorgang der Ladung aller Flaschen ganz stille vor sich, im entgegengesetzten Falle schlagen durch diesen Zwischenraum, wenn er nicht zu groſs ist, Funken durch. Man kann diesen Versuch durch eine zweckmäſsige Einrichtung einer Elektrisirmaschine mit zwei Flaschen sehr lehrreich so darstellen, daſs man zu den zwei Conductoren derselben zwei vertical auf ihren Glasfüſsen stehende hohle Cylinder von Messing- oder verzinntem Eisenblech nimmt, in welche zwei auſsen unbelegte cylindrische Ladungsflaschen genau hineinpassen, so daſs sie mit ihrer Glasfläche gut an die Wand der Höhlung anschlieſsen, und noch um 3 Zoll mit ihrer unbelegten Fläche darüber hervorragen. Hier vertritt nun der cylindrische Conductor die Stelle der äuſseren Belegung. Verbindet man dann die beiden Knöpfe der Zuleiter zur innern Belegung durch einen Messingdraht, welcher vermöge einer doppelten rechtwinklichen Biegung in einer hinlänglichen Höhe über der Scheibe hinweggeht, und mit einer Glasröhre in seiner gröſsten Länge umgeben ist, so daſs man ihn, ohne ihn ableitend zu berühren, nach geschehener Ladung hinwegnehmen kann, und setzt nun die Maschine in Bewegung, so

laden sich, auch wenn beide Conductoren isolirt sind, doch beide Flaschen in einem hohen Grade, und zwar hat die äufsere Belegung der einen Flasche freie positive, die äufsere Belegung der andern, mit dem Conductor des Reibzeugs verbundenen Flasche freie negative Spannung, ihre beiden innern Belegungen sind 0 el. und beide sind gleich stark geladen.

i. Wenn man eine Reihe von isolirten Flaschen an einander ladet, wovon nur die letzte durch ihre äufsere Belegung mit dem Erdboden verbunden ist, so ist die Ladung jeder folgenden Flasche schwächer als die der vorhergehenden, und zwar ist die Ladung nach einem bestimmten Gesetze abnehmend, wie man sich sowohl durch die schwächere Erschütterung als durch die Anzeigen der Elektrometer überzeugen kann, die bei jeder folgenden eine schwächere freie Spannung, als bei der vorhergehenden, dem Leiter, von welchem die Ladung ausgeht, näher stehenden, annehmen. Ist aber von einer solchen Reihe von Flaschen, welche soviel möglich einander vollkommen gleich seyn mögen, die eine äufserste mit ihrer innern Belegung mit dem positiven Conductor, die andere äufserste mit dem negativen Conductor in Verbindung, übrigens alle Flaschen als vollkommen isolirt, und nur auf die vorhin angegebene Weise mit einander verbunden angenommen, so sind die beiden äufsersten gleich stark geladen, und die Ladung nimmt nach der Mitte der Reihe zu nach einem bestimmten Gesetze ab.

k. Wenn man eine Flasche, die mit einem *Adams'schen Quadrantenelektrometer* versehen ist, ladet, so findet man, dafs dasselbe in dem Verhältnisse in die Höhe steigt, in welchem die Maschine länger umgedreht wird. Unter der Voraussetzung, dafs nichts von der Quantität der E., welche durch die Umdrehung der Maschine erregt wird, verloren geht, sondern im Innern der Flasche verdichtet wird, wie sich auch durch die weiteren Betrachtungen im Geiste derjenigen Theorie, welche ein einziges Fluidum als die Ursache der el. Erscheinungen ansieht, vollkommen rechtfertigen wird, so sieht man leicht ein, dafs für eine gegebene Flasche der Grad der freien Spannung, welchen das Elektrometer anzeigt, auch die Stärke der Ladung bestimmen wird. Wenn zwei Flaschen, die in allen Stücken soviel möglich übereinkommen, gleich stark geladen werden sollen, so wird nothwendig die doppelte Menge von E. und also bei gleichförmiger Wirksamkeit der Maschine die doppelte An-

zahl von Umdrehungen erforderlich seyn, und das Elektrometer wird abermals dieselbe freie Spannung wie im ersten Falle zeigen; drei Flaschen werden die dreifache Quantität fordern, und dieselbe Spannung wird dieses dreifache Quantum anzeigen. Dieses lehren auch unmittelbare Versuche. Statt die Flaschen zu vervielfältigen, kann man dieselbe Wirkung durch die Anwendung einer größeren Flasche mit einer größeren Belegung erhalten, und dieselbe Spannung wird also in demselben Verhältnisse ein größeres Quantum von verdichteter E. und also eine größere Ladung anzeigen, in welchem die Oberfläche der Belegung größer ist, oder unter sonst gleichen Umständen wird die Stärke der Ladung und der durch die Entladung hervorzubringenden Wirkung durch das Product aus der durch ein und dasselbe Elektrometer gemessenen Spannung in die Größe der Oberfläche im Allgemeinen angezeigt werden, ohne daſs jedoch behauptet werden soll, daſs diese Größe der Ladung numerisch genau durch das Product aus der Zahl, welche die Größe der Oberfläche in einem und demselben Areal Masse, z. B. in Quadratschuhen oder Zollen, anzeigt, in die Zahl der Grade des Elektrometers ausgedrückt werde, es wäre denn, man hätte ein Elektrometer angewandt, dessen Grade vorher so regulirt worden sind, daſs die durch sie in Zahlen angezeigten Spannungen mit den Quantitäten von freier E. an einer gegebenen Oberfläche wirklich übereinstimmen.

I. Diese Bestimmungsart der Stärke der Ladung gilt jedoch nur für ein und dieselbe Glasesdicke und vielleicht selbst hierbei nur für eine und dieselbe Art von Glas. Ladet man zwei Flaschen, die man von hinlänglicher Größe, z. B. von wenigstens zwei Quadratfuſs nehmen muſs, um den Erfolg auffallender zu machen, deren Glasesdicke beträchtlich von einander abweicht, so wird man finden, daſs die von dünnerem Glase mehr Umdrehungen der Maschine erfordert, damit das Elektrometer zu demselben Grade von Spannung steige, wie die Flasche von dickerem Glase, die Ladung der ersteren wird also bei gleichem Stande des Elektrometers stärker seyn, als die der letzteren. Cavendish hat das Gesetz aufgestellt, daſs bei gleicher freier Spannung und gleicher Größe der Belegung die Stärke der Ladung im umgekehrten Verhältnisse der Glasesdicke sey, eine Behauptung, über deren Richtigkeit sich nicht wohl mit Bestimmtheit entscheiden läſst. Ob bei gleicher Dicke die besondere Beschaf-

fenheit des Nichtleiters noch ihren Einfluſs äuſsere, darüber fehlt es an genügenden Versuchen. Wollte man die Analogie des Magnetismus zu Hülfe nehmen, so würde diese besondere Beschaffenheit als keinen Einfluſs äuſsernd zu betrachten seyn, da die vertheilende oder Atmosphären-Wirkung des Magnetismus durch alle Medien in gleichem Grade hindurchgeht, und nur durch die Entfernung modificirt wird, die Erscheinungen der Leidner Flasche aber auch lediglich von einer Atmosphären-Wirkung abhängen. Daſs Wilke einen Unterschied nach der Verschiedenheit der Materien, aus welchen seine Ladungsplatten bestanden, fand, und besonders am Siegellack eine so überwiegende Ladungsfähigkeit beobachtete, kann auch bloſs von dem ungleichen Leitungs-Vermögen dieser verschiedenen Nichtleiter, von denen keiner ein absoluter Isolator ist, abgehangen haben.

m. Die Ladung einer Flasche oder Platte findet sich nicht in den Belegungen, sondern auf der Glasfläche selbst. Man kann daher die Belegungen abnehmen, und mit andern vertauschen, ohne daſs dadurch die Ladung der Flasche oder Platte mit weggenommen wird. Man kann diesen Versuch auf verschiedene Weise anstellen. Bei Glasplatten ist er am leichtesten anzustellen, wenn man zu ihren Belegungen Messingplatten gebraucht, die mit isolirenden Handgriffen versehen sind, an denen man sie von der Glasplatte abziehen, und ähnliche an ihre Stelle bringen kann. Während der Ladung muſs dann begreiflich die eine Belegung mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt werden, die man nach geschehener Ladung wieder aufhebt. Eine besonders bequeme Vorrichtung hierzu, und um alle auf die Theorie der Ladung sich beziehende Versuche anzustellen, ist eine zwischen ein Gestell von überfirniſsten Glasstäben senkrecht aufgehängte Glasplatte, die in einem Rahmen von recht trockenem und wohl überfirniſstem Holze eingefaſst ist, um sie mit seidenen Schnüren, die an den Rahmen befestigt sind, an die Glassäulen, wovon zwei senkrecht aufgerichtet sind, und die dritte quer oben über weggeht, aufzuhängen. Die Belegungen bestehen aus recht ebenen, glatten runden Platten von dünnem, Messingblech mit umgeschlagenem, dadurch etwas verdicktem wohl abgerundetem Rande, die gleichfalls senkrecht an Glassäulen auf geeigneten Füſsen befestigt sind, und auf der Bodenplatte des Gestells, in welchem die Ladungsplatte hängt, her-

angeschoben werden können, so dafs sie parallel einander gerade gegenüber stehen, und nur durch die Glasplatte, an welche sie recht genau anschliefsen müssen, von einander getrennt sind. Von solchen Platten hat man dann ein doppeltes Paar nöthig. Zieht man nach geschehener Ladung die zuerst gebrauchten Platten ab, und bringt an ihre Stelle das zweite Paar, so wird man bei der Entladung immer noch eine sehr derbe Erschütterung erhalten. Dieser Versuch gelingt indefs nur recht gut bei trockener Witterung, und wenn man etwas schnell jenen Austausch vornimmt, denn allerdings haftet ein Theil der E. an der Metallbelegung derjenigen Seite, von welcher die Ladung ausgegangen ist, und welche freie Spannung zeigt, und wenn man diese Platte abzieht, so wird auch ein Antheil vorher gebundener E. auf der entgegengesetzten Fläche frei. Man kann denselben Versuch auch mit einem Zuckerglase oder Trinkglase machen, dessen Belege aus passenden schüsselförmigen Deckeln von Zinn oder mit Zinnfolie überzogener Pappe bestehen, in deren einen man das Glas hineinsetzt, während der andere sich bequem durch die Oeffnung der Flasche einbringen läfst, und die nach geschehener Ladung mit ähnlichen vertauscht werden. Eine Hauptsache ist, dafs diese beweglichen Belegungen genau an die Glasfläche anschliefsen. Bei mit Schrot gefüllten Flaschen kann man diesen auch ausschütten, und durch anderen ersetzen, und die Flasche wird ihre Ladung nicht verloren haben.

Die Belegungen dienen vorzüglich nur dazu, die bei der Ladung den Belegungen zugeführte E. gleichförmig über alle Puncte der Glasfläche zu verbreiten und auch bei der Entladung auf einmal von allen Puncten der Glasfläche abzuleiten. Wäre die Glasfläche ohne Belegung, so würde beim Laden die E. nur zunächst derjenigen Glasstelle zugeführt werden, mit welcher der Zuleitungsdraht in unmittelbarer Berührung ist, und alle übrigen Stellen würden so gut wie ohne Ladung bleiben. Bei gehörigem Verfahren kann man indefs auch eine unbelegte Flasche oder Platte laden. Man halte eine reine und trockene Glasplatte an eine ihrer Ecken, und fahre mit ihr über die am positiven oder negativen Conductor durch einen Messingdraht befestigte hervorstehende Kugel, so dafs jede Stelle des Glases nach und nach mit ihr in Berührung kommt, während man die Glasplatte auf der andern Seite mit dem Finger oder irgend einem andern mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Leiter der jedes-

mal an der Kugel anliegenden Stelle gegenüber berührt. Die Glasplatte wird auf diese Art geladen, indeſs zeigt sie ihre volle Ladung durch eine ähnliche Explosion, wie andere belegte Glasplatten nur dann, wenn man vor Anbringung des Ausladers an ihre beiden Oberflächen Metallplatten anlegt, die auf einmal von allen Puncten der geladenen Glasfläche die E. dem Auslader zuführen können, während bei Anbringung des Ausladers an die unbelegte Glasfläche die Entladung nur von jeder einzelnen Stelle aus, mit welcher der Auslader in Berührung kommt, mit einem kleinen Funken geschieht, weswegen aber auch nach der Reihe viele solcher Entladungen erfolgen können, wenn man mit dem Auslader über die Glasplatte hinfährt. Noch schneller kann man die Ladung einer solchen unbelegten Glastafel bewirken, wenn man die Zuleiter, welche ihren beiden Flächen die entgegengesetzten Elektricitäten zuführen sollen, zuspitzt, und die Glastafel während der Elektrisirung zwischen ihnen hin und her führt. Nur eine Luftschicht scheint sich bei ihrer Ladung auf eine andere Weise, wie die übrigen Nichtleiter zu verhalten. Diese wird dadurch bewirkt, daſs man zwei mit Stanniol überzogene, recht ebene, Bretter einander gegenüber bringt, indem man das eine auf den Tisch legt und das andere an seidenen Fäden aufhängt, genau parallel über dem ersteren, durch eine Luftschicht von einem Zoll davon getrennt, und dem letzteren durch die Maschine E. zuführt, ein Versuch, den zuerst Wilke angestellt zu haben scheint[1]. Hier wird man bei der Berührung beider Flächen eine starke Erschütterung erhalten, zum Beweise einer wirklich statt findenden Ladung, und zwar auch dann, wenn man während der Anstellung des Versuchs durch einen Blasebalg die dazwischen befindliche Luft fortdauerd erneuert. Der Uebergang der E. von einer recht glatten ebenen Fläche an die Luft selbst findet also nicht statt wie an einen starren Nichtleiter, und die durch die Ladung verdichtete E. haftet hier also an den Metallflächen selbst, und wird daran, wie an den Leitern überhaupt, nur durch den Widerstand der Luft zurückgehalten. Uebrigens gelingt der Versuch der Ladung einer Luftschicht nur bei recht trockenem Wetter, und die Erschütterung ist nur dann recht stark, wenn man dieselbe noch während der fortdauernden Elektrisirung nimmt, verliert sich dage-

---

1 a. o. a. O. S. 263.

gen sehr schnell nach dem Aufhören derselben, wovon die Ursache wohl in der Beweglichkeit der Luft, die eben darum nur ein sehr unvollkommener Isolator ist, liegt. Dasselbe findet auch bei der Ladung einer Oelschicht statt.

n. CUTHBERTSON will wiederholt die Beobachtung gemacht haben, daſs im Winter dieselben Flaschen keine so starke Ladung annehmen, als im Sommer, die Stärke der Ladung sowohl nach der Länge des Entladungsfunkens durch das Lane'sche Ausladeelektrometer, als nach der Länge des geschmolzenen Eisendrahts bestimmt [1]. Eben die Flasche, mit welcher CUTHBERTSON 8 Zoll Eisendraht im Sommer geschmolzen hatte, konnte im Winter keine Ladung vertragen, die stark genug war, um nur 5 Z. zu scmelzen, ohne durchbrochen zu werden, und zwar trug sich dieses so anhaltend zu und CUTHBERTSON zerbrach so viele Flaschen, daſs er endlich genöthigt wurde, das Drahtschmelzen von mehr als 4 Z. mit Flaschen von gewöhnlicher Gröſse zu unterlassen. Diese Verschiedenheit läſst sich nur aus der verschiedenen Beschaffenheit der Luft im Sommer und Winter erklären. Im letzteren leistet nämlich die Luft wegen ihrer gröſseren Dichtigkeit und Kälte dem Durchbruche der E. mehr Widerstand, als im Sommer, und da CUTHBERTSON den Versuch über das Schmelzen des Drahtes immer so anstellte, daſs der Funken eine gewisse Luftstrecke von dem Knopfe der Ladungsflasche zu der Kugel des Ausladers, der dann den Schlag weiter zu dem zu schmelzenden Drahte führte, durchbrechen muſste, so läſst sich sehr wohl erklären, warum nun eine stärkere Ladung zum Durchbrechen durch diese Strecke im Winter als im Sommer erforderlich war, die, wenn sie an der Glasesdicke selbst weniger Widerstand fand, als in den vereinigten Hemmungen des Weges, den sie zu durchlaufen hatte, eher das Glas durchbrach als den letztern Weg nahm. Hätte CUTHBERTSON die Kugel des Ausladers dem Knopfe der Flasche genähert, so würde er ohne Zweifel auch im Winter jene 8 Zoll Eisendraht mit derselben Flasche haben schmelzen können. Die gröſsere Länge des Funkens beim Ausladen im Sommer als im Winter erklärt sich auf die nämliche Weise von selbst. Doch könnte auch eine gröſsere Sprödigkeit des Glases durch die Winterkälte Antheil an der leichtern Zerspringbarkeit beim Elektrisiren gehabt haben.

---

1 Abhandlung von der El. 3te Fortsetzg. S. 130. 131.

III. Entladung der Leidner Flasche, Erschütterungsschlag, Bedingungen und allgemeinste Verhältnisse der Erschütterung.

a. Die Entladung der Leidner Flasche wird bewirkt, wenn man eine leitende Verbindung von einer Seite derselben zur andern führt, auch nur so weit, bis sie der andern Seite so nahe kommt, daſs die E. derselben die zwischenliegende Luft durchbrechen kann. Man bedient sich gewöhnlich dazu des Ausladers [1], dessen eines Ende an die äuſsere Belegung angesetzt, das andere aber dem Knopfe genähert wird. Sobald dieses Ende in den gehörigen Abstand vom Knopfe (in die *Schlagweite*) kommt, so bricht zwischen beiden ein starker Funke mit einem heftigen Laute aus, und die Ladung der Flasche ist bis auf einen kleinen Ueberrest verschwunden. Diese Erscheinung heiſst der elektrische Schlag (*explosio electrica*; explosion électrique, coup foudroyant; *electrical shock*). Dieser Funke übertrifft zwar den Funken aus dem ersten Leiter einer Maschine nicht an Länge, vielmehr kann man durch angemessene Ausdehnung des ersten Leiters und das richtige Verhältniſs zwischen den beiden Kugeln, zwischen denen der Funke durchbricht [2], diesem eine viel gröſsere Länge verschaffen, als diejenige des Entladungsfunkens selbst der gröſsten Batterieen ist, dagegen ist letzterer viel dicker, glänzender, in seiner Bahn gerade, und nicht zickzackförmig, der Laut desselben ist viel heftiger, und nähert sich bei sehr groſsen Batterieen schon dem Knalle einer kleinen Pistole.

b. Wenn die Ladung nicht allzu stark ist, so kann man diesen Schlag durch den Körper eines oder mehrerer Menschen gehen lassen. Ist es nur einer, so faſst er die Flasche an der äuſseren Belegung mit der einen Hand, und nähert den Finger der andern Hand ihrem Knopfe; sind es mehrere, so viel ihrer auch seyn mögen, so bilden sie eine Kette, indem sie sich die Hände geben, der erste faſst die Flasche mit der Hand, der letzte bringt den Finger gegen den Knopf. Sobald der Schlag ausbricht, fühlen alle, wenn es auch hundert oder mehrere sind,

---

1 S. *Auslader.*

2 S. *Elelektrisirmaschine.*

und die Belegung alsdann nur eine verhältnifsmäfsige Gröfse von wenigstens einem Quadratschuh hat, in demselben Augenblicke eine heftige Erschütterung, vorzüglich in den Gelenken der Hände, Arme und Schultern und in der Brust, die jedoch in der Regel keine weitere schmerzhafte Empfindung zurückläfst. Davon heifst der Schlag auch die elektrische Erschütterung (*concussio, commotio electrica*; commotion électrique). Ist die Ladung stark, z. B. die einer Batterie oder auch nur einer Flasche von mehreren Quadratschuhen Belegung, die zu einem hohen Grade von Spannung geladen ist, so darf man sich dem Schlage nicht aussetzen, weil er alsdann Thiere zu tödten vermögend ist, und Lähmung der Nerven in den Theilen, durch welche er hindurchgeht, Blutspeien u. d. g. verursachen könnte. Ueberhaupt bringt die E. bei der Entladung der Flaschen und Platten, vorzüglich wenn mehrere zu einer Batterie vereinigt sind, die erstaunlichsten Wirkungen hervor, und heifst daher *verstärkte Elektricität*. Doch findet darum kein wesentlicher Unterschied zwischen ihr und der sogenannten *einfachen* E., wie sie vom ersten Leiter einer Maschine aus wirkt, statt, wie man denn durch eine angemessene Einrichtung die Wirksamkeit dieser letzteren bei hinlänglicher Stärke der Maschine bis auf einen Grad verstärken kann, dafs sie mit derjenigen einer Leidner Flasche ganz übereinkommt[1]. Volta[2] hat für verschiedene Gröfsen der Belegung denjenigen Grad der Spannung nach seinem Strohhalmelektrometer bestimmt, welcher nöthig ist, damit im kleinen Finger eine eben noch wahrnehmbare Erschütterung empfunden werde, und fand bis zu einer gewissen Grenze, dafs um bei noch einmal so grofser Belegung den gleichen Effect hervorzubringen, eine Spannung etwas gröfser als die Hälfte erforderlich ist. Doch mag nach einem andern Elektrometer das Resultat wohl anders ausfallen. Uebrigens weichen die Erschütterungen wenigstens qualitativ merklich von einander ab, wenn sie auch durch dieselbe Menge von E. hervorgebracht werden, je nachdem die Oberfläche durch die Spannung oder umgekehrt ersetzt wird. Die von einer kleinen Flasche mit grofser Spannung sind lebhafter, schärfer, gleichsam vibrirend, aber weniger voll, die von einer grofsen

---

1 Vergl. *Elektrisirmaschine.*

2 G. XIV. 260.

Flasche oder Batterie mit schwacher Spannung sind schwerer und tiefer, und gleichen mehr den Schlägen der el. Fische.

c. Es kann auch die Entladung einer Flasche stillschweigend ohne Schlag und Erschütterung bewirkt werden, wenn man beide Seiten derselben allmälig von ihren E. befreit (denn eine allein zu befreien, ist wegen des Wirkungskreises der entgegengesetzten auf der andern Seite, durch welche jene zurückgehalten wird, unmöglich, wie aus der Theorie noch weiter erhellen wird). Am lehrreichsten in Beziehung auf das Wesen der Ladung und Entladung geschieht dieses, wenn man eine eben geladene Flasche auf einen Harzkuchen oder eine sonst gut isolirende Unterlage stellt. Berührt man nun den Knopf mit dem Finger, so erhält man, da keine leitende Verbindung von diesem zur äufsern Belegung statt findet, keinen Schlag, sondern nur einen stechenden Funken. So wie man diesen Funken genommen hat, ist die innere Belegung mit ihrem Zuleiter auf 0 zurückgebracht, wie dieses mit jedem Leiter der Fall ist, welchen man mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt hat. Dagegen zeigt nun die äufsere Belegung, die vorher el. war, freie el. Spannung, und zwar von der entgegengesetzten Natur, wie die der inneren Belegung, und man kann nun aus dieser eben so einen schwachen Funken erhalten. So wie man diesen genommen, und damit die äufsere Belegung wieder auf 0 zurückgebracht hat, so zeigt der Knopf und die innere Belegung abermals freie Spannung von derselben Qualität, wie sie im Anfange hatte, man kann einen neuen Funken aus ihr ziehen, worauf die äufsere Belegung wieder dasselbe Verhalten, wie bei der Entziehung des ersten Funkens zeigt. So erhält man durch abwechselnde Berührung des Knopfes und der äufseren Belegung fortdauernd Funken, die aber nach einem bestimmten Gesetze immer schwächer und schwächer werden, und hat man dieses lange genug fortgesetzt, so dafs am Ende keine der Belegungen auch am empfindlichsten Elektrometer freie Spannung mehr zeigt, so ist die Flasche vollkommen entladen. Diese stillschweigende Entladung kann man auf eine interessante Weise auch dadurch bewirken, dafs man um die äufsere Belegung einen messingenen Ring legt, aus dem ein krumm gebogener Stab mit einem Knopfe B heraufgeht, so dafs die beiden Knöpfe A und B sich in einer Entfernung, die etwas gröfser als die Schlagweite ist, gegenüberstehen. Wenn man dann einen leichten

Fig. 56.

Körper wie eine Kork-, oder Hollundermark-Kugel an einem seidenen Faden zwischen die beiden Kugeln herabhängen läſst, so wird er abwechselnd von A und B angezogen, bringt so nach und nach die entgegengesetzten E. der beiden Seiten zur Ausgleichung, womit die Entladung der Flasche gegeben ist. Man hat diesem Versuche auch wohl den Namen der *elektrischen Spinne* gegeben, indem man jenem leichten Körper eine solche Form gab, und die Hin- und Herbewegungen desselben zwischen den beiden Kugeln gleichsam die Bewegungen jener Spinnerin darstellen, wenn sie ihr Gewebe spinnt. Die Spinne selbst wird aus Kork oder leichtem Holze geschnitten und lackirt, so daſs ihr Körper dem jenes Thieres gleicht, die Füſse aber werden aus seidenen Fäden nachgebildet. Befestigt man auf den Knöpfen A und B metallene Glocken, und wird an dem seidenen Faden statt der Spinne eine kleine metallene Kugel aufgehangen, so entladet sich die Flasche allmälig durch ein Geläute.

d. Die allmälige Entladung findet auch statt, wenn man die äuſsere Belegung mit der Erde in Verbindung setzt, und auf den Knopf der innern eine Spitze aufsteckt, oder wenn der Zuleitungsdraht schon an und für sich in eine Spitze ausgeht und durch Abschrauben der Kugel entblöſst wird, wobei man begreiflich sich isolirender Werkzeuge bedienen muſs. Unter diesen Umständen zerstreut sich die E. der innern Belegung stillschweigend durch die Spitze, und zwar bei positiver Ladung derselben mit einem im Dunkeln sichtbaren positiven Feuerstrahle, bei negativer mit der Lichterscheinung der negativen Spitzen, während die E. der äuſseren Belegung sich gleichzeitig mit dem Erdboden ausgleicht. Dieselbe stille Entladung erhält man auch, wenn man die zugespitzten Enden des Ausladers, von dem man zu diesem Behuf vorher die Kugeln abgeschraubt hat, dem Knopfe der inneren und äuſseren Belegung der auf einem Harzkuchen isolirten Flasche gegenüber hält, und zwar in einer gröſseren Entfernung als diejenige ist, bis zu welcher der mit seiner Kugel versehene Auslader dem Knopfe der Flasche zur Erhaltung des Schlags genähert werden muſs, wobei, unter Voraussetzung positiver Ladung der inneren Belegung die dem Knopfe gegenüberstehende Spitze einen negativen, die der äuſseren Belegung gegenüberstehende einen positiven Feuer-Pinsel zeigt, und umgekehrt bei entgegengesetzter Ladung. Selbst wenn eine Flasche an ihrem Zuleitungsdrahte mit keinen Spitzen versehen ist,

verliert sich doch nach einiger Zeit ihre Ladung von selbst, wenn ihre äußere Belegung in leitender Verbindung mit dem Erdboden ist, weil die Luft und die in ihr schwebenden leitenden Theilchen die E. der innern Belegung allmälig abführen, wenn sich die der äußeren Belegung in gleichem Verhältnisse mit ihrem Gegensatze ausgleichen kann. Doch geht diese Zerstreuung um so schneller vor sich, je kleiner die Kugel des Zuleitungsdrahtes und je dünner dieser selbst ist, dem Gesetze gemäß, welches unter dem Artikel: *Elektricität* über die Ableitung derselben durch die Luft aufgestellt worden ist.

e. Wenn man eine etwas größere Flasche oder gar eine Batterie auf die gewöhnliche Weise durch einen Auslader entladet, so daß man die Kugel derselben nur so weit mit dem Knopfe der Flasche nähert, daß die Explosion erfolgen kann, so wird man nach erfolgtem Schlage in sehr kurzer Zeit bei größerer Annäherung der Kugel abermals eine, aber viel schwächere Explosion erhalten, und wenn man abermals eine gewisse Zeit abwartet, eine zweite und selbst noch eine dritte, die jedoch immer schwächer werden, wo aber selbst die zweite bei einer ansehnlichen Batterie trotz der Kürze des Entladungsfunkens oft noch eine sehr heftige Erschütterung verursacht. Man kann indeß unter günstigen Umständen die Kugel des Ausladers mit dem Knopfe auch in unmittelbare Berührung bringen, nur muß man diese wieder aufheben, um bei neuer Annäherung jene zweite Explosion zu erhalten. Dieser Ueberrest der Ladung findet vorzüglich dann statt, wenn die Luft recht trocken ist. Nach v. Marum's [1] Versuchen steht er einigermaßen im umgekehrten Verhältnisse mit dem Grade, bis zu welchem bei derselben Flasche oder Batterie die Ladung getrieben worden ist. So schien er bei einer Ladung von 5° noch einmal so groß zu seyn, als bei einer Ladung von 15°. Man sieht hieraus, daß die an der innern Glasfläche angehäufte und verdichtete E. sich nicht in einem gleich günstigen Verhältnisse für die Entladung befinden muß.

f. Man kann eine Flasche ohne alle Explosion und ganz unbemerkbar entladen, wenn man sie eben so stark mit der entgegengesetzten E. von derjenigen ladet, durch welche sie ihre ursprüngliche Ladung erhalten hat. Ist z. B. eine Flasche am

---

1 G. I. 277.

positiven Leiter durch eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen der Elektrisirmaschine bis zu einem bestimmten Grade von Spannung geladen worden, und wird sie dann mit dem Knopfe an den Leiter des Reibzeugs gebracht, so wird man nach derselben Anzahl von Umdrehungen alle Ladung der Flasche aufgehoben finden, und bei fortgesetzter Bewegung der Maschine wird sie dann negativ geladen. Man begreift indeſs leicht, daſs es bei der wirklichen Anstellung des Versuchs schwierig ist, genau den Punct zu treffen, wo die negative Ladung die vorhergegangene positive gerade aufgehoben hat, da das Kennzeichen der Aufhebung aller Spannung unsicher ist, sofern die gewöhnlichen Ladungselektrometer die schwächeren Grade von Spannung, womit bei gröſseren Flaschen noch eine sehr starke Ladung bestehen kann, nicht mehr anzeigen.

g. Die Ladung einer Flasche läſst sich unter mehrere andere vertheilen, wenn man nach vorher veranstalteter guter leitender Verbindung ihrer äuſseren Belegungen unter einander ihre inneren Belegungen durch einen isolirt gehaltenen Leiter, z. B. durch den an einem isolirenden Handgriffe gehaltenen Auslader, mit dem Knopfe der geladenen Flasche in Verbindung bringt. Man kann auf diese Art die Capacität jeder Batterie mit der Capacität irgend einer Ladungsplatte von bestimmter Dicke eines bestimmten Glases von einer bestimmten Gröſse der Belegung vergleichen, oder genau auffinden, wie viel mal mehr E. jene wie diese enthält, wenn sie beide an einem und demselben Leiter zugleich und also zu derselben Spannung geladen wurden. So bestimmte z. B. Cavendish in seinen lehrreichen Versuchen mit einem künstlichen Zitterrochen die Capacität einer jeden Reihe von 7 Flaschen, von denen 7 Reihen seine ganze Batterie ausmachten, 15¼ mal so groſs, als diejenige einer Platte von Kronglas von der Dicke von 0,055 eines englischen Zolles und 100 Quadratzoll Belegung. Man nehme an, eine Flasche oder Batterie sey so weit geladen, bis die Kugeln eines beliebigen Ladeelektrometers (es sey nun ein Adams'sches oder irgend ein anderes mit zwei gehörig aufgehängten Kugeln, deren Abstand an einem Gradbogen genau gemessen werden kann) bis zu einer gegebenen Entfernung von einander abstehen, so läſst sich leicht finden, wie weit sie von einander abstehen würden, wenn die Menge von E. in der Flasche oder Batterie auf die Hälfte reducirt würde. Zu diesem Behuf nehme man zwei Flaschen,

die einander an Gestalt, Gröſse der Belegung und Dicke des Glases so gleich als möglich sind, und lade die eine so weit, bis die Kugeln zu einer bestimmten Entfernung von einander abstehen, theile ihre E. der andern mit und beobachte bis zu welcher Entfernung die Kugeln nach dieser Mittheilung von einander abstehen. Es ist klar, daſs, wenn die Flaschen einander vollkommen gleich sind, dieses gerade die gesuchte Entfernung seyn würde, weil in diesem Falle die rückständige Quantität von E. in der ersten Flasche nach geschehener Mittheilung gerade halb so groſs wie zuvor seyn wird. Da man aber nicht annehmen kann, daſs die beiden Flaschen einander ganz genau gleich sind, so wiederholt man den Versuch, indem man nachher die zweite Flasche eben so stark wie zuvor die erste ladet, ihre E. mit der ersten theilt, und abermals beobachtet, wie weit die Kugeln von einander abstehen, wo dann das Mittel dieser beiden Entfernungen unstreitig der Grad der gesuchten Entfernung seyn wird, wenn auch die beiden Flaschen nicht von gleicher Gröſse waren. Will man nun nach Cavendish's Beispiele die Capacität einer solchen Reihe von Flaschen vergleichungsweise mit jener oder irgend einer beliebigen Ladungsplatte, die gleichsam zur Einheit dient, bestimmen, so ladet man dieselbe, bis die Kugeln des Elektrometers jene erste Entfernung zeigen, und theilt ihre Ladung wiederholt jener Platte mit, wobei man Sorge tragen muſs, die Platte jedesmal zuvor vollkommen entladen zu haben, ehe man eine neue Mittheilung vornimmt, bis man aus dem Abstande der Kugeln des Elektrometers wahrnimmt, daſs die Ladung der Batterie auf die Hälfte reducirt ist. Gesetzt man habe diese Mittheilung zwischen 11 und 12 mal, oder nach ungefährer Schätzung $11\frac{1}{4}$ mal nehmen müssen, so läſst sich die Quantität von E. in jener Reihe von Flaschen so finden. Die Quantität der E. in der Platte verhalte sich zu derjenigen in der Reihe von Flaschen $= x : 1$, so ist es einleuchtend, daſs die Quantität der E. in der Batterie bei jedesmaliger Communication mit der Platte in dem Verhältnisse von $1 : (1 + x)$ vermindert, und folglich nach $11\frac{1}{4}$ maliger Communication in dem Verhältnisse von $1 : (1 + x)^{11,25}$ reducirt seyn wird. Demnach ist $(1 + x)^{11,25} = 2$ und $1 + x = 2^{\frac{1}{11,25}}$, woraus der Werth von x durch Logarithmen leicht gefunden wird. Ein leichterer Weg der Berechnung, der für den dabei beab-

positiven Leiter durch eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen der Elektrisirmaschine bis zu einem bestimmten Grade von Spannung geladen worden, und wird sie dann mit dem Knopfe an den Leiter des Reibzeugs gebracht, so wird man nach derselben Anzahl von Umdrehungen alle Ladung der Flasche aufgehoben finden, und bei fortgesetzter Bewegung der Maschine wird sie dann negativ geladen. Man begreift indefs leicht, dafs es bei der wirklichen Anstellung des Versuchs schwierig ist, genau den Punct zu treffen, wo die negative Ladung die vorhergegangene positive gerade aufgehoben hat, da das Kennzeichen der Aufhebung aller Spannung unsicher ist, sofern die gewöhnlichen Ladungselektrometer die schwächeren Grade von Spannung, womit bei gröfseren Flaschen noch eine sehr starke Ladung bestehen kann, nicht mehr anzeigen.

g. Die Ladung einer Flasche läfst sich unter mehrere andere vertheilen, wenn man nach vorher veranstalteter guter leitender Verbindung ihrer äufseren Belegungen unter einander ihre inneren Belegungen durch einen isolirt gehaltenen Leiter, z. B. durch den an einem isolirenden Handgriffe gehaltenen Auslader, mit dem Knopfe der geladenen Flasche in Verbindung bringt. Man kann auf diese Art die Capacität jeder Batterie mit der Capacität irgend einer Ladungsplatte von bestimmter Dicke eines bestimmten Glases von einer bestimmten Gröfse der Belegung vergleichen, oder genau auffinden, wie viel mal mehr E. jene wie diese enthält, wenn sie beide an einem und demselben Leiter zugleich und also zu derselben Spannung geladen wurden. So bestimmte z. B. Cavendish in seinen lehrreichen Versuchen mit einem künstlichen Zitterrochen die Capacität einer jeden Reihe von 7 Flaschen, von denen 7 Reihen seine ganze Batterie ausmachten, 15¼ mal so grofs, als diejenige einer Platte von Kronglas von der Dicke von 0,055 eines englischen Zolles und 100 Quadratzoll Belegung. Man nehme an, eine Flasche oder Batterie sey so weit geladen, bis die Kugeln eines beliebigen Ladeelektrometers (es sey nun ein Adams'sches oder irgend ein anderes mit zwei gehörig aufgehängten Kugeln, deren Abstand an einem Gradbogen genau gemessen werden kann) bis zu einer gegebenen Entfernung von einander abstehen, so läfst sich leicht finden, wie weit sie von einander abstehen würden, wenn die Menge von E. in der Flasche oder Batterie auf die Hälfte reducirt würde. Zu diesem Behuf nehme man zwei Flaschen,

die einander an Gestalt, Gröfse der Belegung und Dicke des Glases so gleich als möglich sind, und lade die eine so weit, bis die Kugeln zu einer bestimmten Entfernung von einander abstehen, theile ihre E. der andern mit und beobachte bis zu welcher Entfernung die Kugeln nach dieser Mittheilung von einander abstehen. Es ist klar, dafs, wenn die Flaschen einander vollkommen gleich sind, dieses gerade die gesuchte Entfernung seyn würde, weil in diesem Falle die rückständige Quantität von E. in der ersten Flasche nach geschehener Mittheilung gerade halb so grofs wie zuvor seyn wird. Da man aber nicht annehmen kann, dafs die beiden Flaschen einander ganz genau gleich sind, so wiederholt man den Versuch, indem man nachher die zweite Flasche eben so stark wie zuvor die erste ladet, ihre E. mit der ersten theilt, und abermals beobachtet, wie weit die Kugeln von einander abstehen, wo dann das Mittel dieser beiden Entfernungen unstreitig der Grad der gesuchten Entfernung seyn wird, wenn auch die beiden Flaschen nicht von gleicher Gröfse waren. Will man nun nach Cavendish's Beispiele die Capacität einer solchen Reihe von Flaschen vergleichungsweise mit jener oder irgend einer beliebigen Ladungsplatte, die gleichsam zur Einheit dient, bestimmen, so ladet man dieselbe, bis die Kugeln des Elektrometers jene erste Entfernung zeigen, und theilt ihre Ladung wiederholt jener Platte mit, wobei man Sorge tragen mufs, die Platte jedesmal zuvor vollkommen entladen zu haben, ehe man eine neue Mittheilung vornimmt, bis man aus dem Abstande der Kugeln des Elektrometers wahrnimmt, dafs die Ladung der Batterie auf die Hälfte reducirt ist. Gesetzt man habe diese Mittheilung zwischen 11 und 12 mal, oder nach ungefährer Schätzung $11\frac{1}{4}$ mal nehmen müssen, so läfst sich die Quantität von E. in jener Reihe von Flaschen so finden. Die Quantität der E. in der Platte verhalte sich zu derjenigen in der Reihe von Flaschen $= x:1$, so ist es einleuchtend, dafs die Quantität der E. in der Batterie bei jedesmaliger Communication mit der Platte in dem Verhältnisse von $1:(1+x)$ vermindert, und folglich nach $11\frac{1}{4}$ maliger Communication in dem Verhältnisse von $1:(1+x)^{11,25}$ reducirt seyn wird. Demnach ist $(1+x)^{11,25}=2$ und $1+x=2^{\frac{1}{11,25}}$, woraus der Werth von x durch Logarithmen leicht gefunden wird. Ein leichterer Weg der Berechnung, der für den dabei beab-

sichtigten Gebrauch ein hinlänglich genaues Resultat giebt, ist folgender: Man multiplicire die Zahl, wie oftmals man die E. der Batterie der Platte mittheilte, mit 1,444 und ziehe von dem Producte den Bruch $\frac{4}{9}$ ab, der Rest ist $= \frac{1}{x}$, oder die Zahl, um wie viel mal die E. in der Batterie die der Platte übertrifft.

h. So wie man die Ladung einer Flasche unter mehrere durch die Entladung theilen kann, so kann man auch die Flaschen wechselseitig vollkommen durch einander entladen. Wenn man zwei so viel möglich gleich grofse Flaschen gleich stark geladen hat, doch mit entgegengesetzter E. ihrer inneren Belegungen, indem man den Knopf der einen mit dem ersten Leiter, den Knopf der andern mit dem Leiter des Reibzeugs in Verbindung setzte, und man führt nun, nach vorgängiger leitender Verbindung der äufseren Belegungen unter einander, den isolirten Auslader vom Knopfe der einen zum Knopfe des andern, so wird in der nöthigen Schlagweite eine Entladung mit der gewöhnlichen Explosion statt finden, und beide Flaschen werden zugleich entladen seyn, ungeachtet bei keiner derselben eine leitende Verbindung von der inneren zur äufseren Seite statt gefunden hat. Würde man diesen Versuch auf dieselbe Weise bei denselben Flaschen, aber bei gleichartiger Ladung der gleichnamigen Belegungen machen, so würde man keine Entladung erhalten, die aber sogleich statt finden wird, wenn auch bei vollkommener Isolirung beider Flaschen eine leitende Verbindung durch den Auslader zwischen dem Knopfe der einen Flasche und der äufseren Belegung der andern, und zugleich auch zwischen dem Knopfe dieser letzteren und der äufseren Belegung der ersten gemacht wird.

i. Die leitende Verbindung zwischen beiden Seiten der Flasche, der Verbindungskreis, braucht eben nicht aus einem einzigen ununterbrochenen Leiter zu bestehen. Man kann ihn sehr lang machen und mancherlei Körper hinein bringen, ja selbst Nichtleiter, wenn nur die Ladung stark genug ist, um den Widerstand, welchen diese leisten, zu überwinden. Es lassen sich überhaupt auf das Verhalten der E. bei diesem Streben nach Ausgleichung zwischen den el. Zuständen beider Belegungen in Beziehung auf einander und ihre Gegensätze in den umgebenden Leitern alle die Gesetze anwenden, die in dem Artikel: *Blitz* für die Ausgleichung der E. der Gewitterwolke mit ihrem relativen Gegensatze auf dem Erdboden aufgestellt worden sind, wobei diejenige Seite, von welcher die Ladung ausgegangen ist,

und an welcher die freie el. Spannung auftritt, als das Analogon der Gewitterwolke selbst zu betrachten ist. Der Schlag nimmt auch bei der Entladung der Flasche, wie bei derjenigen der Gewitterwolke, stets den Weg durch die besten Leiter, durch die er mit dem wenigsten Widerstande zu seinem Ziele der Ausgleichung gelangt. Sind daher mehrere Verbindungen vorhanden, so vertheilt er sich selten unter alle, sondern zieht z. B. die metallische oder die durch feuchte Körper gehende vor, zumal wenn sie zugleich die kürzeste ist. Vor mehreren Jahren wollte man zu Paris[1] die Beobachtung gemacht haben, daſs wenn durch einen Kreis von mehreren Personen nach der oben unter b angegebenen Weise der Schlag geleitet wird, die Fortleitung durch impotente Personen, wenn sie sich in dem Kreise befinden, aufgehalten werde, allein Versuche, welche der Graf Artois mit Castraten der Oper anstellen lieſs, haben den Ungrund hiervon gezeigt. Uebrigens hat man selten Beispiele von Personen, welche zwar den el. Schlag durch sich hindurch auf andere Personen überleiteten, aber selbst ganz unempfindlich dafür waren[2].

Statt einer Reihe von Personen kann man eine groſse Ausdehnung von Metalldraht, das Wasser eines Flusses, oder einen langen Strich des Erdreichs zu einem Theile der Verbindung zwischen den beiden Belegungen machen. Dahin gehören Winkler's Versuch im Apel'schen Garten zu Leipzig den 28. Juli 1746[3], wobei drei Flaschen in der Pleiſse standen, welche entladen wurden, wenn man die Verbindungskette dreiſsig Ellen weit davon ebenfalls in den Fluſs hing, und das andere Ende an den mit den Flaschen verbundenen Conductor brachte, Le Monnier's Versuche in Paris[4], der die Erschütterung durch einen Draht von 12000 Pariser Fuſs, wobei wir jedoch die Angabe der nähern Umstände des *ersten* Versuchs vermissen, und in einem andern Falle über die Oberfläche des groſsen Bassins in den Tuilerien leitete, vor allen aber die Versuche, welche Watson in Gesellschaft mit mehreren Mitgliedern der Königlichen Gesellschaft zu London im Jahre 1747 und 1748

1 Sigaud de la Fond Précis historique et expérimental des phénomènes électriques. Paris 1781. 8. p. 285.

2 G. XIV. 143.

3 Priestley's Geschichte der E. S. 59.

4 Ph. Tr. Vol. XLIV. P. I. p. 290.

anstellte[1]. Erst wurde die Erschütterung quer über die Themse, dann durch die Windungen eines Flusses, dann durch eine Verbindung von vier englischen Meilen, nämlich zwei Meilen Draht und zwei Meilen trockenen Erdboden, endlich am 5. August 1748 durch eine Strecke Draht von 12276 Fuſs oder mehr als 2¼ englische Meilen geleitet. Diese beiden letzten Versuche waren besonders interessant, da sie nach der Art, wie sie angestellt wurden, die auſserordentliche und, so weit bis jetzt die Versuche gehen, instantane Schnelligkeit der Fortleitung der E. in das hellste Licht setzen[2]. In dem Versuche, in welchem der trockene Grund mit in die Verbindung aufgenommen war, wurde der eine mit dem äuſsern Belege der Flasche und dem sie ladenden Conductor verbundene Draht, eine Meile weit bis zu dem einen Beobachter, und der andere Draht, an welchem sich ein kurzer eiserner Stab befand, mit welchem durch Berührung des Drahtes der Flasche die Entladung gemacht wurde, zum andern Beobachter geleitet, welche selbst auf Harzkuchen isolirt mit der einen Hand jeder das Ende des Drahtes anfaſsten, und mit einem eisernen Stabe in der andern Hand den Boden berührten, der in einer Strecke von zwei englischen Meilen die kürzeste Entfernung zwischen ihnen bildete. Die beiden Drähte waren bloſs durch trockene hölzerne Stäbe getragen, der eine Draht ging selbst über Hecken und an Bäumen vorbei, der zwischen beiden Beobachtern befindliche Grund war zum Theil steinig und bei dem damals warmen Sommerwetter sehr trocken. In dem Augenblicke da die Entladung erfolgte, so weit bei der Entfernung der Beobachter vom Orte der Entladung dieses sich annäherungsweise bis auf weniger als ¼ Secunde mit Sicherheit ausmitteln lieſs, fühlten auch die beiden Beobachter die starke Erschütterung, doch derjenige, dessen Draht in mehrfacher ableitender Berührung sich befand, weniger heftig. Der letzte Versuch[3] war aber ganz entscheidend für eine instantane Fortleitung durch eine Strecke von mehr als 6000 Fuſs. Hier wurde nämlich der eine Draht an das äuſsere Beleg befestigt, und auf einem an das Zimmer, in welchem der Versuch gemacht wurde,

---

1 Ph. Tr. Vol. XLV. for 1748. p. 49. auch Priestley's Geschichte der E. S. 71 f.

2 Vgl. auch den Artikel: *Elektricität.*

3 Ph. Tr. Vol. XLV. p. 85 u. 491.

anstoſsenden Felde durch trockene Holzstäbe unterstützt, hin und her und mit seinem Ende in das Zimmer zurückgeführt, in einer Länge von mehr als einer englischen Meile, eben so der andere Draht, welcher durch Berührung des Drahtes der Flasche die Entladung bewirkte, und der Beobachter selbst, welcher sich im Zimmer neben der Maschine befand, faſste mit seinen beiden Händen die beiden Enden der Drähte. In dem Augenblicke der Entladung wurde auch die Erschütterung von ihm in beiden Armen und durch die Brust empfunden — dagegen empfand er nichts, wenn die beiden Drähte mit einander in eine leichte Berührung gebracht wurden und er wie zuvor die Drähte mit beiden Händen anfaſste, eben so wenig, wenn er nur das Ende des einen Drahtes in der Hand hielt, in welchem Falle sich die Flasche auf eine andere Weise entlud, und endlich war die Erschütterung ganz dieselbe und ging gleichfalls auch nur durch die beiden Arme und die Brust, und nicht durch die Füſse, wenn der Beobachter auſserhalb vor dem Fenster auf dem feuchten Grunde stand, und übrigens auf gleiche Weise die Enden der beiden Drähte in seinen Händen hielt. Gehler[1] bemerkt nach einer kurzen Anführung der Versuche Watson's: „Es hat aber Volta[2] durch Versuche erwiesen, daſs bei groſsen Verbindungskreisen die E. nicht in einem ununterbrochenen Strome durch den ganzen Kreis geht, daſs vielmehr jede Seite ihren besondern Strom erregt und ihre E. den nächsten Leitern abgiebt. Dem zufolge entstand in jenen freilich sehr täuschenden Versuchen des Dr. Watson der el. Schlag an jedem Ende für sich und ohne Zusammenhang mit dem andern Ende, wobei das Unbegreifliche dabei auf einmal verschwindet." Wir müssen dagegen erinnern, daſs auch bei Annahme der Richtigkeit der Volta'schen Behauptung das Unbegreifliche, was ohne Zweifel in der Schnelligkeit der Fortpflanzung und in dem Beschränktbleiben auf einem so bestimmten Weg liegen soll, dasselbe bleibt. Volta[3] stützt sich zum Erweise jener Behauptung auf eine nähere Betrachtung und Erörterung

1 Wörterbuch II. 297.

2 Rozier Journal de Physique 1779.

3 Opuscoli scelti sulle science e sulle Arti. Milano 1778. Tomo I. p. 4 u. 5. übers. in Alex. Volta's Schriften über E. u. Galv. Von Dr. Nasse. Halle 1803. S. 67 — 77.

des Vorgangs bei der Entladung einer Leidner Flasche durch einen Kreis z. B. von mehreren Personen, wovon die eine an einem Ende der Reihe, die wir mit O bezeichnen wollen, die äufsere Belegung anfafst, während die äufserste am andern Ende, A den Knopf berührt. Volta, die Sprache der Franklin'schen Theorie gebrauchend, bemerkt nun, dafs in demselben untheilbaren Augenblicke, in welchem in die Person A aus dem Kopfe E. überzuströmen anfängt, auch aus O gleichzeitig E. in die äufsere Belegung übergehe, und zwar auf Unkosten der eigenen E. von O, weil in demselben Augenblicke, dafs die Spannung auf der innern Belegung auch nur durch Entziehung des kleinsten Quantums von E. durch den berührenden Finger abnimmt, auch die äufsere Seite sogleich in wirklicher Negativität gegen die umgebenden Körper auftritt, welche sich also von ihrer Seite wieder positiv gegen sie verhalten und folglich von ihrer eigenen E. ihr abgeben müssen. Diesen Verlust wird O von der Person, die zunächst mit ihr verbunden ist, ersetzen, und so wird diese, vermöge dieser Mittheilung, gleichfalls einen Schlag empfinden, eben so wird sich der Strom von A auf die mit ihr zunächst verbundene Person B verbreiten, und diese demnach gleichfalls den Schlag empfinden, und so von O und von A aus von beiden Seiten nach der Mitte hin. Aber es ist eben so einleuchtend, dafs so wie O E. an die innere Belegung abgegeben hat, es seinen Verlust nicht blofs aus der nächsten Person, sondern auch aus dem Erdboden ersetzen wird, weswegen dann aus der zunächst angrenzenden Person schon weniger in O übergehen mufs, als aus O in die äufsere Seite und so verhältnifsmäfsig im Fortgange nach der Mitte zu abnehmend. Eben so wird die aus dem Knopfe ausströmende E. sich auch noch andern Leitern mittheilen, mit denen A in Verbindung steht, und nicht blofs in die nächste Person übergehn. Damit stimmen nun die Erscheinungen bei der Mittheilung einer Erschütterung an einen Kreis von mehreren Personen sehr gut überein, nämlich dafs, abgesehen von der subjectiv verschiedenen Empfindlichkeit für den Schlag, die stärkste Erschütterung von den an den beiden äufsersten Enden befindlichen Personen und nach der Mitte zu stufenweise schwächer empfunden wird, was nach beiden Theorieen Schwierigkeit machen würde, wenn blofs die Ausgleichung innerhalb des nächsten Verbindungskreises erfolgte. Auch der Umstand, dafs

in diesem Falle alle Personen zugleich in den Fuſsgelenken eine Erschütterung empfinden, beweiset die Ausgleichung der E. beider Belegungen nach allen Seiten bei einem mehr ausgedehnten Leiter, wo die Ausdehnung dieses Leiters selbst als ein Hinderniſs wirkt. So gegründet nun auch diese Bemerkungen an und für sich sind, so bleibt es doch keinem Zweifel unterworfen, daſs in den oben angeführten Versuchen WATSON's jene Leitung der E., wie man sich dieselbe auch vorstellen will, worüber die Theorie erst das Nähere anzugeben hat, für die Beobachtung wenigstens in einem untheilbaren Augenblicke und instantan von beiden Seiten durch eine Länge von wenigstens 6000 Fuſs sich erstreckt habe, weil der Beobachter, welcher sich wirklich in dieser Entfernung befand, da er die Enden der beiden Drähte hielt, in dem Augenblicke der Entladung auch die Erschütterung empfand. Auch ergiebt sich bei der Prüfung dieser Versuche, daſs, wenn der Verbindungskreis aus so guten Leitern, wie die Metalle sind, besteht, und die Menge der E. die nach Ausgleichung strebt, nicht so ansehnlich ist, die Leitung von einer Belegung zur andern, oder die Ausgleichung selbst bei so groſsen Strecken so gut wie ausschlieſsend in einem solchen Kreise geschieht, und nicht davon abweicht, selbst wenn die Isolirung des Drahtes nicht vollkommen ist. Nur dann, wenn die Isolirung sehr unvollkommen ist, und der Ausgleichung dadurch Nebenwege eröffnet sind, oder wenn bei wenig ausgedehnter Leitung die Menge der sich ausgleichenden E. sehr ansehnlich ist, erstreckt sich die Ausgleichung und die davon abhängige Erschütterung auch noch über den nächsten Kreis von Leitern von einer Belegung zur andern hinaus. So empfindet man bei der Entladung einer sehr groſsen Flasche, noch mehr einer Batterie, selbst durch einen Auslader von dickem Messingdrahte, den man in der Hand hält, eine leichte Erschütterung in dieser. Daher kommt es auch, daſs, wenn man eine Kette mit der äuſsern Seite einer geladenen Flasche verbindet, und diese auf die gewöhnliche Weise durch den Auslader entladet, diese Kette, die doch kein unmittelbares Glied der leitenden Verbindung zwischen den beiden Belegen ausmacht, dennoch im Dunkeln leuchtet, d. h. Funken zwischen ihren Gliedern zeigt, ja selbst dann, wenn sie sich nicht unmittelbar in Berührung mit der äuſsern Seite der Flasche, sondern nur nahe dabei befindet, in welchem

Falle man im Augenblicke des Ausladens einen Funken zwischen der Flasche und dem nächsten Ende der Kette sehen wird.

k. Dieser sogenannte seitwärts gehende Schlag, wie man die zuletzt erwähnte Erscheinung bezeichnet, hat aber noch in einer andern Form, unter welcher man ihn darstellen kann, seinen Grund in dem Umstande, dafs wenn sich die E. in einem Leiter ausgleichen, dessen Capacität, verglichen mit derjenigen der Flasche, nicht überwiegend ist, die Ausgleichung nicht Null E. giebt, sondern sich stets ein Ueberschufs von E. von der Beschaffenheit der E. derjenigen Seite, von welcher die Ladung ausging, zeigt. Man setze eine geladene Flasche auf den Tisch, isolire einen starken metallenen Stab und stelle ihn so, dafs er mit einem Ende die äufsere Belegung der Flasche berührt, und richte ungefähr einen halben Zoll weit von seinem andern Ende einen Körper auf, der etwa 6 oder 7 Fufs lang und wenige Zoll breit ist. Man lege ferner eine Kette auf den Tisch, so dafs das eine Ende derselben etwa 1½ Z. von der Belegung der Flasche absteht, befestige das andere Ende an den einen Knopf des Ausladers und entlade dann durch Annäherung des andern Knopfes die Flasche. In dem Augenblicke der Entladung wird sich zwischen dem isolirten Stabe ein starker Funken zeigen, der aber den el. Zustand dieses Körpers nicht verändert. Aus diesem letzteren Umstande zog man den sonderbaren Schlufs, dafs dieser seitwärts gehende Funken aus der Belegung der Flasche komme und in demselben Augenblicke wieder in sie zurückkehre. Indessen hat Cuthbertson[1] durch eine Reihe zweckmäfsig angestellter Versuche das Irrige dieser Ansicht hinlänglich nachgewiesen. Er hat zur genauen Untersuchung dieses Phänomens eine eigene Vorrichtung angegeben, mittelst welcher er durch jenen seitwärts gehenden Funken eine kleine Flasche ladete, und zwar wurde sie positiv geladen, wenn die gröfsere Flasche inwendig positiv, negativ hingegen, wenn dieselbe inwendig negativ geladen war. Auch zeigte sich der Schlag stärker, wenn mit der innern Belegung ein Leiter von mehr Oberfläche verbunden wurde, z. B. wenn man die gröfsere Flasche statt des Knopfes mit einer grofsen metallenen Kugel versah. Cuthbertson leitete diese Ladung durch jenen

---

1 Abhandlung von der Elektricität 5te Forts. S. 203.

seitwärts gehenden Schlag richtig von jenem Ueberschuſs von + oder — E ab, welches die freie Spannung bildet.

1. Durch Nichtleiter geht die Erschütterung nicht, sie müſste denn stark genug seyn, sie mit Gewalt zu durchbrechen, wobei allezeit ein Funke entsteht. Wenn daher die Verbindung durch eine Reihe nicht ganz zusammenhängender, sondern nahe an einander stehender leitender Körper gemacht wird, so entsteht zwischen jedem Paare dieser Körper ein Funke, weil die E. die Luft daselbst durchbrechen muſs. Hierauf gründen sich allerlei Spielwerke, von denen schon im Artikel: *Elektricität* bei Gelegenheit des el. Eunkens im Allgemeinen die Rede gewesen ist. Nollet ist der Erfinder hiervon, Sigaud de la Fond[1], Güyot[2] u. a. haben die dabei zu beobachtenden Vortheile umständlich angegeben. Das Wesentliche hiervon wird man zur Genüge aus der Abbildung des sogenannten Kometen oder eines Sterns mit langem sich allmälig erweiterndem Schweife abnehmen können. Die ganzen Linien c, c, c,.... stellen höchst feine Streifen von Stanniol dar, die auf eine lange, verhältniſsmäſsig schmälere, Glastafel, oder wenn man eine gröſsere Länge beabsichtigt, auf zwei oder mehrere durch einen Rahmen an einander gefügte Glastafeln mit Hausenblase geklebt sind, und mit einem feinen Federmesser an den gehörigen Stellen so durchschnitten sind, daſs die Zusammenstellung der dadurch gebildeten Unterbrechungen auf dem Glase die beabsichtigte Figur eines Kometen darstellt, zu welchem Behufe begreiflich die freien Stanniolstreifen selbst schon auf eine passende Weise aufgetragen seyn müssen, wie die Figur selbst deutlich genug zeigt. Da wo die Zwischenräume mit einem Kreuze bezeichnet sind, bildet sich die Figur des Sterns; die einfachen Streifen e, e, e, mit denen die horizontalen Linien durchschnitten sind, bilden zusammen den Schweif. Das Ganze wird mit Firniſs überzogen. Indem die Entladung in einem untheilbaren Augenblicke durch alle diese Zwischenräume in Form von kleinen Funken hindurchschlägt, werden sie auf einmal erleuchtet, und stellen einen siebeneckigen Stern mit einem sich nach unten mehr und mehr erweiternden Schweife dar, den man nach Belieben auf 2, 3

Fig. 57.

---

1 Geschichte der medic. und physik. E. von Kühn. 1ster Theil. Leipzig 1783. gr. 8. S. 240.

2 Physik. nud mathem. Belustigungen Th. IV. S. 301—310.

und mehrere Fuſs verlängern kann. Die Hauptsache hierbei besteht darin, daſs auf dem Wege durch die ganze Länge jener Stanniolleitung nirgend eine Stelle sich finde, wo der el. Funken durch Ueberspringen auf dem geradesten und kürzesten Wege weniger Widerstand finde, als auf dem langen Umwege die Summe mehrerer kleiner Zwischenräume Hemmung entgegengesetzt, daſs also z. B. in jenem Kometen n von m noch hinlänglich entfernt sey, um mehr Widerstand zu leisten, als in der Summe der kleinen Zwischenräume, deren Zahl in dem mitgetheilten Schema 14 beträgt, liegt, die zur Hervorbringung der Figur eines Sterns erforderlich sind. Es lassen sich aus Stannioltafeln, welche auf Glasplatten aufgeklebt sind, durch einfache Vorrichtungen in gleichen Zwischenräumen sehr schmale Streifen ausschneiden, so daſs von der Stanniolafel nur schmale, einander parallele Streifen, zwischen denen eben so schmale, durch jenes Ausschneiden von ihrem Stanniol befreite Glasstreifen sich befinden, zurückbleiben, die man an ihren beiden Enden durch kleine Stückchen Stanniol mit einander verbindet, um durch die ganze Länge aller Stanniolstreifen eine ununterbrochene Leitung zu haben, worauf man dann mit einem feinen Federmesser beliebige Schnitte durch die Stanniolstreifen macht, die in ihrer Zusammenstellung jede Art von Gestalt, einen Namen, ein Portrait, eine Blume, ein Gebäude, Landschaft u. s. w. darstellen können, und bei der Entladung einer Flasche im Dunkeln das verlangte Bild im schönsten Brillantfeuer erscheinen machen. Indeſs ist zu allen diesen Versuchen auch der Funke aus dem ersten Leiter einer kräftigen Elektrisirmaschine hinreichend.

m. *Die Selbstentladung* einer Flasche beruht ebenfalls auf einem solchen Durchbruche durch Nichtleiter. Sie geschieht auf doppelte Art: auf die eine Art längs dem unbelegten Rande der Flasche mit einem starken, gewöhnlich geschlängelten, Funken, der am Glase seine deutliche Spur zurückläſst, indem dasselbe in der ganzen Richtung des Funkens seinen Glanz verloren hat, so daſs die Gestalt des Funkens in einer wie mit Fluſsspathsäure in das Glas eingeprägten Zeichnung erkennbar ist. Gewöhnlich geht dieser Selbstentladung ein wiederholtes Leuchten und Blitzen im Innern der Flasche an dem obern Rande der Belegung voran. Die andere Art der Selbstentladung ist mit einem Durchbruche durch das Glas verbunden. Dieses

findet leichter bei dünnem Glase statt, besonders wenn die Flaschen dabei sehr groſs oder mit mehreren andern zu einer Batterie verbunden sind. Durchgängig bemerkt man, daſs das Glas ein sehr feines Loch hat, um welches auf beiden Seiten die Masse des Glases in einem Umkreise von einer oder zwei Linien im Durchmesser gleichsam zerrieben ist, wie wenn vom Innern des Glases aus nach beiden Seiten eine mechanisch aufwühlende Kraft gewirkt hätte, und von diesem Mittelpuncte der Zerstörung gehen dann gewöhnlich noch längere Risse nach verschiedenen Richtungen aus. Wenn groſse Batterien entladen werden, so findet man oft einige von den Flaschen zerbrochen, welche die Gewalt des Schlages zersprengt hat. Um dieses zu verhindern, schreibt Nairne die Regel vor, daſs niemals eine Batterie durch einen guten Leiter entladen werde, ohne den Weg des Ueberganges wenigstens 5 Fuſs lang zu machen. Seit der Beobachtung dieser Regel will Nairne eine sehr groſse Batterie gegen hundertmal entladen haben, ohne eine einzige Flasche zu zerbrechen, da doch vorher beständig einige zerbrochen waren [1]. Die Länge des Weges scheint hierbei durch Verminderung der Stärke des Schlags zu wirken, da der Widerstand mit der Länge wächst und daher auch die Ausgleichung nicht so schnell vor sich geht, und die Erschütterung dadurch geringer wird.

n. Wenn der Verbindungskreis durch unvollkommene Leiter z. B. durch Stücke trockenen Holzes, durch inwendig angefeuchtete Glasröhren u. dgl. unterbrochen wird, so entstehen dadurch anhaltend schneidende Funken oder Büschel, die nicht erschüttern, aber an dem Theile des Leibes, wo sie eindringen, eine höchst widrige Empfindung verursachen. Wolf [2] hat diese Art der Entladung zuerst angewandt, um mit Batterien von wenigen und kleinen Flaschen Schieſspulver zu entzünden. Dieses wird in eine kleine fingerhutartige Büchse von Elfenbein oder Buchsbaum geschüttet, in welche seitwärts Drähte geschraubt sind, die in dem Schieſspulver etwa eine halbe Linie von einander abstehen, und in den Entladungskreis, von welchem diese Vorrichtung einen Theil ausmacht, wird mittelst

1 Cavallo I. 170.

2 Magazin für das Neueste aus der Physik u. s. w. v. Lichtenberg II. Bd. 2tes St. S. 70.

metallener Häkchen, die sie an beiden Händen hat und die man am bequemsten durch Körke in ihr befestigt, eine Glasröhre gebracht, deren Wände überall durch ein paar Tropfen Wasser befeuchtet sind. Viele Jahre später sind diese Versuche als ganz neu von den Engländern LEUTHWEITE [1] und WOODWARD [2] bekannt gemacht, und durch einige neue Erfahrungen vermehrt worden. Das Merkwürdige in diesen Versuchen ist, daſs derselbe Schlag einer groſsen Flasche oder Batterie, wenn dieselbe durch bloſs metallene Leiter entladen wird, das Schieſspulver bloſs zerstreut, ohne es zu entzünden. Die von LEUTHWEITE gebrauchte Flasche hatte einen Quadratfuſs Belegung, und entlud sich von selbst, wenn das Quadrantenelektrometer auf 90° zeigte. Die angewandte Glasröhre war 6 Zoll lang und hatte 0,3 Zoll im Durchmesser. Sie war mit zwei Korkstöpseln geschlossen, durch welche Drähte gingen. a. War die Röhre mit Wasser gefüllt, so entzündete sich das Schieſspulver bei 60° Ladung der Flasche, nicht aber bei einer schwächern. b. Bei der Füllung der Röhre mit Schwefeläther erfolgte die Entzündung nicht eher als bei 60°, bei der Anfüllung mit Alkohol aber schon bei 30°. c. War endlich die Röhre mit Schwefelsäure oder Salzsäure gefüllt, so erfolgte die Entzündung nie, auch wenn die Flasche bis auf 80° geladen war. WOODWARD bemerkte, daſs eben so wenig Entzündung des Schieſspulvers zu bewirken war, wenn die Leitung durch den thierischen Körper ging, oder durch Wasser, das nicht in Röhren eingeschlossen war, und er erklärt sich dieses letztere daraus, daſs das Wasser uneingeschlossen in Röhren dem Durchgange der E. keinen hinlänglichen Widerstand leiste. Indessen muſs diese Behauptung beschränkt werden, da, wie mich eigene Versuche belehrt haben, und SCHWEIGGER gleichfalls gefunden hat, die Entzündung gleichfalls öfters gelingt, wenn die metallische Leitung durch einen naſs gemachten Strick unterbrochen wird [3]. Diese Versuche über die Entzündung des

---

1 Journal of Science, Litter. and the Arts 1821. XXII. 391. und daraus in Schweigg. J. N. R. XIV. 121. und G. LXIX. 372.

2 Annals of Philosophy 1820. S. 283. und in Schweigg. J. N. R. XIV. 121. Vgl. Sturgeon in Phil. Mag. LXIII. 445.

3 Nach MUNCKE Anfangsgründe der Naturlehre S. 264. erfolgt die Entzündung durch einen im Leitungskreise befindlichen nassen Bindfaden unfehlbar.

Schiefspulvers unter den angegebenen Umständen sind übrigens vorzüglich geeignet, das Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten vergleichungsweise zu bestimmen, in welcher Rücksicht ich auf dieselben unter dem Artikel: *Leiter* wieder zurückkommen werde.

Es lassen sich mit der Leidner Flasche ungemein viele belehrende und unterhaltende Versuche anstellen. Verzeichnisse und Beschreibungen derselben findet man bei Cavallo [1], Adams [2], Donndorf [3], Cuthbertson [4], Maingosus Gälle [5], Singer [6], u. a. Die stärksten Wirkungen erfolgen aber, wenn mehrere Flaschen mit einander verbunden, und zusammen entladen werden [7]. Von den merkwürdigsten Wirkungen des Entladungsschlages werde ich unter dem Artikel: *Schlag, elektrischer* noch ausführlich handeln, und nur am Ende dieses Artikels diejenigen Versuche einer näheren Erörterung unterwerfen, welche man für vorzüglich entscheidend für die streitige Frage, ob den elektrischen Erscheinungen nur eine oder zwei el. Materien (el. Erregungen) zum Grunde liegen, angesehen hat.

III. Geschichte des Leidner Versuchs.

Schon der Engländer Stephan Gray fühlte im Jahre 1735, als er sich mit Ausziehung elektrischer Funken aus dem Wasser beschäftigte, die Erschütterung der verstärkten E. [8]. Da er aber die Bemerkung nicht weiter verfolgt hat, so kann man ihn nicht als den Erfinder dieses merkwürdigen Versuches ansehen.

Die Ehre, eine so wichtige Entdeckung gemacht zu haben, die alle Naturforscher in Erstaunen setzte, und dem Studium

---

1 Vollst. Abh. der Lehre von der E. Leipzig 1797. 1ster Band IIIter Theil, 7tes u. 12tes Kap.

2 Versuch über die Elektricität a. d. E. Leipzig 1785. p. 8. 7tes Kapitel.

3 Lehre von der E. I. Bd. S. 344 f. II. Bd. Kap. 19. S. 825.

4 J. Cuthbertson vollst. Abh. der theor. und prakt. Lehre von der E. a. d. E. von Baumann. Leipzig 1797. 2ter Bd. gr. 8.

5 Beiträge zur Erweiterung und Vervollkommung der Elektricitätslehre. Salzb. 1813. 2 Vol. 8.

6 G. J. Singer Elemente der Elektricität und Elektrochemie. Uebers. von C. H. Müller. Berlin 1819. 5tes Kap. S. 62 f.

7 S. *Batterie, elektrische.*

8 Ph. Tr. No. 436. J. D. Titius de electrici experimenti Lugdunensis inventore primo. Witteb. 1771. 4.

der E. ein neues Leben gab, gehört unstreitig einem deutschen Prälaten, v. Kleist, Dechanten des Domcapitels zu Camin in Pommern, welcher am 11ten Oct. 1745 die verstärkte E. selbst entdeckte, am 4ten November darauf dem Dr. Lieberkühn in Berlin, am 28. Nov. dem Prediger Swietlick in Danzig und bald darauf dem Professor Krüger in Halle Nachricht davon gab, welche der erste der Berliner Akademie der Wissenschaften, der zweite der Danziger naturforschenden Gesellschaft mittheilte, und der dritte[1] schon 1746 drucken liefs. Diese Nachrichten enthalten Folgendes. „Wenn ein Nagel oder starker messingener Draht in ein kleines Arzneyglas gesteckt und elektrisirt wird, so erfolgen besonders starke Wirkungen. Das Gläschen mufs recht trocken oder warm seyn. Man kann es vorher mit Kreide reiben. Thut man ein wenig Quecksilber oder Wasser hinein, so geht alles noch besser von statten. Sobald das Gläschen von der elektrischen Röhre weggenommen wird, so äufsert sich der leuchtende Strahlenbüschel, und man kann mit dieser brennenden Maschine über 60 Schritte weit im Zimmer herumgehen. Wird während dem Elektrisiren der Finger oder ein Stück Geld an den Nagel gehalten, so ist der herausfahrende Schlag so stark, dafs Arme und Achseln davon erschüttert werden. Eine isolirte Röhre läfst sich dadurch weit stärker elektrisiren, als unmittelbar durch die Kugel. Wird ein Conductor elektrisirt, der im Gläschen befindliche Nagel daran gehalten, und mit dem Elektrisiren fortgefahren, so sollte man kaum glauben, in welche Stärke die Elektricität gesetzt werde. Ist das Gläschen niedrig, dafs sich die Finger in der gehörigen Weite befinden, so schlägt der Funke von selbst aus dem Nagel auf den Finger zu. Dünnhälsige Gläser sind ein paarmal durch den heftigen Schlag zersprengt worden" u. s. w. Man sieht, dafs hierbei das Glas wirklich geladen war, wobei das hineingegossene Wasser oder Quecksilber die innre, die darum gelegte Hand aber die äufsere Belegung ausmachte. Man bemühte sich in Danzig den Versuch nachzuahmen, und Gralath war der erste, dem er gelang, jedoch erst, nach erhaltener ausführlicher Anweisung durch v. Kleist, welche 1747[2] öffentlich bekannt gemacht wurde.

---

1 Krüger's Geschichte der Erde. Halle 1746. 8. S. 177 f.

2 Abh. der naturf. Gesellschaft in Danzig Th. I. 1747. 4. S. 512.

Zu Anfang des Jahres 1746 schrieb MUSSCHENBROEK aus Leiden an REAUMUR, er sey auf einen schrecklichen Versuch gerathen, mit einer Erschütterung, der er sich nicht für die Krone Frankreichs zum zweitenmal aussetzen möchte; ALLAMAND, ebenfalls Professor in Leiden, wiederholte dieses in einem Briefe an NOLLET, und im Februar auch in einem eigenen Aufsatze[1]. Der Abt NOLLET nannte daher die Entdeckung den *Leidner Versuch*, welchen Namen sie auch behalten hat, ob sie gleich weit richtiger der *Kleist'sche Versuch* heifst. Man fing in Frankreich an, MUSSCHENBROEK für den Erfinder zu halten, als ALLAMAND noch im Jahre 1746 sowohl an NOLLET als an GRALATH meldete, die erste Entdeckung gehöre eigentlich einem angesehenen Privatmanne CUNAEUS zu, der schon 1745 zufälliger Weise darauf gekommen sey. Es ist nicht wahrscheinlich, dafs dieser Mann etwas von der Entdeckung des deutschen Präleten gewufst habe; inzwischen bleibt diesem letztern unstreitig das Verdienst der ersten Erfindung und Bekanntmachung.

MUSSCHENBROEK erzählt, er und sein Freund hätten darauf gedacht, elektrisirte Körper, weil sie an der Luft die Elektricität bald verlören, zu isoliren, und hätten daher Wasser in gläsernen Flaschen durch einen mit der Maschine communicirenden Draht elektrisirt. Dabei habe er, als er eine solche Flasche in der einen Hand gehalten, und mit der andern Hand den Draht von der Maschine habe losmachen wollen, einen schrecklichen Schlag in seinen Armen und der Brust bekommen, den sie alle bei wiederholtem Versuche ebenfalls empfunden hätten, und von dessen Wirkung auf den Körper sie fürchterliche Beschreibungen machen.

Diese Nachrichten erregten ein unbeschreibliches Aufsehen und machten die E. zum Gegenstande der allgemeinen Unterredung. Der Kreis der Erfahrungen über die Leidner Flasche erweiterte sich eben darum so schnell, weil in allen Gegenden die Physiker sich damit beschäftigten. GRALATH in Danzig war einer der ersten, welcher der Erfindung etwas Bedeutendes zusetzte. Er vertauschte Gläschen, Nagel und Weingeist mit einer gröfsern Flasche, einem Drahte mit der Kugel und mit Wasser, zeigte schon den 20. April 1746 einen Verbindungs-

1 Mém. de l'Acad. des Sciences 1746. p. 2.

kreis von 20 Personen, erfand die Batterie, und entdeckte die Unmöglichkeit zersprungene Flaschen zu laden, desgleichen den sogenannten Ueberrest der Ladung. Winkler in Leipzig, dem die Erschütterung sehr empfindlich gewesen war, und welcher sogar ein hitziges Fieber davon zu erhalten gefürchtet hatte[1], erfand eine Veranstaltung, eine unvollkommene Art von Lane'schem Ausladeelektrometer, die Explosion von ferne zu beobachten, und stellte die eben angeführten Versuche an, wobei ein Theil der Pleiſse in die Verbindung gebracht ward. Die meisten Experimente aber hat Dr. Watson in den Jahren 1746, 1747 u. 1748[2] hinzugefügt. Er fand, daſs die Stärke des Schlags nicht von der Menge der Materie (des Wassers oder Schrots) in der Flasche, sondern bloſs von der Gröſse der Fläche, die sie berührt, abhänge, und daſs dasselbe auch für die äuſsere Fläche in Beziehung auf die sie anfassende Hand gelte, welches dem Dr. Bewis die Veranlassung gab, die Belegung mit Zinnfolie (er nahm zuerst Bleiplatten) zu erfinden, auch damals schon Silberblättchen sowohl zur Belegung von Flaschen als von Glasplatten zu gebrauchen[3]. Er gab zuerst eine Erklärung des räthselhaften Phänomens der Ladung, und ordnete 1747 und 1748 die in's Groſse gehenden Versuche über die Verbindungskreise und die Geschwindigkeit des Schlages an. Wilson[4] tauchte die Flaschen auch von auſsen in Wasser, entdeckte das wahre Verhältniſs der Stärke des Schlags, nahm wahr, daſs derselbe den Weg wähle, bei dem er am wenigsten Widerstand antrifft; bemerkte die Lateralexplosion u. s. w.

In Frankreich stellte der Abt Nollet die ersten Versuche an, entdeckte zufällig, daſs eine luftleere Flasche alle Dienste einer belegten leiste, machte Verbindungskreise von 180 Personen, die sich mit eisernen Drähten verbanden und einen Umkreis von 900 Toisen bildeten, und tödtete zuerst Thiere durch den Schlag. Le Monnier fand, daſs die Ladung eine

---

1 An Extract of a Letter etc. in Ph. Tr. Vol. XLIV. P. I. 211.

2 Vorzüglich in einem den 30. Oct. 1746 vorgelesenen und in Ph. Tr. Vol. XLIV. P. II. p. 704. abgedruckten Aufsatze, so wie durch die umständliche Beschreibung der Versuche über die Durchleitung des Erschütterungsschlages durch groſse Strecken in Ph. Tr. Vol. XLV. p. 49—98.

3 Ph. Tr. Vol. XLV. p. 104.

4 Ebend. Vol. IL. L. LI.

Zeitlang (bei kaltem Wetter 36 Stunden) in den Flaschen bleibe, und that sich noch vor Dr. Watson durch Versuche mit langen Verbindungskreisen hervor.

In England sowohl als in Frankreich hatte man schon wahrgenommen, daſs isolirte Flaschen nicht geladen werden konnten, und daſs die Belegung geladener Flaschen leichte Körperchen anzog, wenn man den Draht berührte, hingegen dieselben abstieſs, wenn man den Finger an die Belegung brachte. Diese Versuche hätten darauf führen können, daſs die Elektricitäten beider Seiten entgegengesetzt sind; allein man übersah dieses, und bildete sich ein, das elektrische Fluidum ströme aus der Hand, oder den Leitern, die die Flasche von auſsen berührten, durch das Glas hindurch in die innere Belegung. Indem also die Erklärung der Leidner Flasche den europäischen Naturforschern ein Geheimniſs blieb, verbreitete sich auf einmal ein unerwartetes Licht darüber durch die Briefe des Dr. Franklin in Philadelphia[1], wovon der erste im Jahr 1747 erschien, und an Peter Collinson gerichtet war. Dieser scharfsinnige Naturforscher war durch die Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn eine auf einem Wachskuchen isolirte Person eine Glasröhre reibt, und eine andere gleichfalls isolirte die Glasröhre berührt und nachher beide Personen entweder eine dritte nicht isolirte oder sich unter einander berühren, bewogen worden, die beiden el. Zustände des Glases und Reibzeuges als Ueberfluſs und Mangel einander entgegen zu setzen und durch den Namen der positiven und negativen E. zu unterscheiden[2]. Da er nun bei seinen Versuchen mit der Leidner Flasche gewahr wurde, daſs eine an Seide hängende Korkkugel von der äuſsern Belegung angezogen werde, wenn sie nach vorhergegangener Berührung des mit der innern Seite verbundenen Drahtes von diesem abgestoſsen wird, und daſs man durch den hierauf gegründeten Versuch mit der el. Spinne die Flasche entladen oder die E. der einen Seite in die andere überführen könne, so folgte aus seinen so wohl überdachten Grundsätzen von selbst, daſs bei der Ladung die E. beider Seiten einander entgegengesetzt seyn müſs-

---

1 New exper. and observ. etc. in several letters to M. Collinson. Lond. 1751. 4.

2 S. den Art. *Elektricität.*

ten. Diese Entdeckung liefs ihn tiefe Blicke in das Geheimnifs der Leidner Flasche thun, und ob er gleich bei seiner Theorie noch vieles Willkürliche hinzufügen mufste, so erklärte doch dieselbe alle damals bekannten Erscheinungen so deutlich, dafs sie den entschiedensten Beifall der meisten seiner Zeitgenossen erhielt. Dr. Watson scheint der einzige gewesen zu seyn, der unabhängig von Franklin aus ähnlichen Versuchen über das Verhalten des Reibzeuges und der Glaskugel beim Reiben unter verschiedenen Umständen gleiche Schlüsse auf ein Abgeben der E. von dem Reibzeuge an die Glaskugel, und einen damit eintretenden relativen Mangel in jenem zog, doch ist die Anwendung, die er davon auf die Erklärung der Leidner Flasche machte, nicht klar und bestimmt[1], und namentlich vermochte er nicht Rechenschaft davon zu geben, warum zur Entladung eine Verbindung beider Belegungen durch Leiter der E. erforderlich sey.

Franklin's Theorie führte ihren sinnreichen Erfinder auf die Beobachtung vieler neuen Erscheinungen des Ladens, Entladens und el. Schlages, die als unmittelbare Corollarien aus derselben hervorgingen und zu ihrer Bestätigung dienten, und auf die Erfindung einer zahlreichen Menge von neuen Versuchen, so dafs das meiste, was noch jetzt über die Leidner Flasche vorgetragen wird, aus seinen Briefen geschöpft ist, welche auf einmal den gröfsten Theil der vorigen Dunkelheit dieser Lehre zerstreuten. Hierzu kamen noch seine vortrefflichen Entdeckungen über den Blitz, die Wirkung der Spitzen u. s. w. und die nützlichen Anwendungen derselben durch die Blitzableiter, die Beobachtungen der Luftelektricität, wovon in diesem Wörterbuche unter besondern Artikeln gehandelt werden wird. Daher erregten seine Briefe mit Recht eine allgemeine Bewunderung; nur einige französische Naturforscher, insbesondere Nollet, widersprachen seiner Theorie, und bezweifelten den Nutzen seiner Entdeckungen. J. C. Wilke[2] bereicherte diese Lehre im Jahre 1757 durch seine Versuche über die Ladung verschiedener anderer Nichtleiter, besonders aber einer Luftschicht. Verschiedene andere neue Versuche über die Wirkungen des el. Schlages und die Erscheinungen des el. Lichtes, welche zum Theil zur Bestätigung des Franklin'schen Satzes,

---

1 Ph. Tr. Vol. XLV. for 1748. p. 93.

2 Schwed. Abh. 20ter Bd. S. 241.

dafs die Entladung stets aus der positiven Seite in die negative gehe, dienen sollten, verdankt man in der nämlichen Zeit dem Pater BECCARIA. Besonders klärte aber das von WILKE [1] und AEPINUS [2] entdeckte Gesetz der elektrischen Wirkungskreise die Theorie der Leidner Flasche noch mehr auf, und WILKE nahm davon Gelegenheit, alles was bei der Ladung sowohl in den Glasflächen als in den Belegungen vorgeht, genauer zu untersuchen [3], wozu er sich eines passenden Apparats aus einer Glasplatte bediente, deren Belegungen von derselben im isolirten Zustande abgezogen werden konnten. Diese Untersuchungen, welche in der Hauptsache auch die Erfindung des Elektrophors enthielten, leiteten WILKE damals auf die Vermuthung, dafs sich die Phänomene der Ladung aus der Hypothese von zweien Materien, die er Feuer und Säure nannte, besser als FRANKLIN's erklären liefsen, welcher Gedanke durch die neuen Entdeckungen noch mehr bestätigt worden ist.

VOLTA, einem standhaften Anhänger der Franklin'schen Theorie, gebührt vorzüglich das Verdienst, die Erscheinungen der Ladung unter einen allgemeinen Gesichtspunct mit den verwandten Erscheinungen des Elektrophors und Condensators gebracht und das so umfassende Gesetz, dafs ein elektrisirter Körper, wenn er den Zustand eines andern Körpers, der in seinen Wirkungskreis kommt, verändert, dadurch selbst eine Veränderung leidet, und darin so lange beharret, bis der andere Körper aus seinem Wirkungskreise entfernt wird, in das hellste Licht gesetzt und auf die Erklärung der mannigfaltigsten Erscheinungen glücklich angewandt zu haben [4]. In Deutschland hat LICHTENBERG [5] die Erklärung der Haupterscheinungen der Leidner Flasche nach unbezweifelt erwiesenen Gesetzen der E. mit grofser Klarheit und durch Bezeichnung der positiven E.

---

1 J. C. Wilke diss. de electric. contrariis. Rostock 1757.

2 Tentamen theoriae Electricitatis et Magnetismi. Petropoli 1759. 4.

3 Schwed. Abh. 1762. S. 213 u. 253.

4 Vorzüglich in der Abhandlung über den grofsen Vortheil einer sehr unvollkommenen Isolirung in dessen Schriften übersetzt von Nasse S. 95 f. auch in Ph. Tr. für 1782. p. I. und in Roz. Journ. de Physique Tome XXII. und XXIII.

5 In der 8ten Ausgabe von Erxleben's Anfangsgründen der Naturlehre. Göttingen 1794.

mit +, und der negativen mit — so vorgetragen, dafs sie sich mit der *Franklin'schen* sowohl als der *Symmer'schen* Theorie von zwei Materien gleich gut in Uebereinstimmung bringen läfst. Der neuesten Zeit war es endlich vorbehalten, auch manche Erscheinungen der Leidner Flasche dem genaueren mathematischen Calcüle zu unterwerfen, und dieses Verdienst hat sich vorzüglich Biot[1] erworben.

Aufser den angeführten Physikern haben noch mehrere andere, insbesondere Cavallo, Henly, Nairne, Lord Mahon, Adams, Cuthbertson, Nicholson, van Marum, Sigaud de la Fond, Singer u. a. diese Lehre theils durch interessante Versuche theils durch Apparate bereichert, indefs ist davon entweder schon die Rede gewesen, oder sind diese Bereicherungen nicht von der Wichtigkeit, um sie, ohne zu weitläufig zu werden, noch besonders hervorzuheben.

IV. Theorie der Leidner Flasche.

Die unerwartete Entdeckung des Leidner Versuchs setzte die Naturforscher in nicht geringe Verlegenheit. Sie zeigte die Nichtigkeit aller vorhergegangenen Theorien der E., und stellte eine Erscheinung dar, die kein Physiker, vermöge der damals gangbaren Ansichten, hätte voraussagen können. Inzwischen versuchte Nollet sogleich[2] seine Hypothese der gleichzeitigen Aus- und Zuflüsse[3] darauf anzuwenden. Er erklärte demnach die Erschütterung aus dem heftigen und doppelten Stofse, der durch das Zusammentreffen der el. Ströme im menschlichen Körper u. s. w. entstehe, wenn die Ausflüsse aus dem Knopfe und der Belegung den Zuflüssen aus den beiden Händen des Experimentators begegnen. Das Gefäfs müsse von Glas seyn, damit der Draht nicht gleich bei der Berührung der äufsern Fläche seine E. durch einen einfachen Funken verliere. Er behauptete schlechterdings, es könne auch eine isolirte Flasche geladen werden, denn seine Hypothese enthielt keinen Grund, warum es unmöglich seyn sollte. Er leugnete beim Entladen die Nothwendigkeit beide Seiten zu verbinden, und sah überhaupt die

1 Traité de Physique expérimentale et mathématique Tome II. p. 382.

2 Mém. de l'acad. royale des Sciences. Année 1746. Pag. 1. suiv.

3 Vgl. *Elektricität*.

Ladung blofs für Ueberfüllung mit el. Materie an, ohne die entgegengesetzten E. zu unterscheiden. Die ferneren Entdeckungen stellten das gänzlich Ungenügende dieser Theorie bald in das hellste Licht. Nollet hat sie indefs mit einer fast unglaublichen Hartnäckigkeit vertheidigt, und allen seinen Scharfsinn aufgeboten, um die Schwierigkeiten zu heben, die ihm fast jeder neu erfundene Versuch entgegenstellte.

Viel glücklicher war Franklin's Theorie in der Erklärung des Leidner Versuchs, und gerade der Umstand, dafs sie sich auf das Vollkommenste an alle Erscheinungen desselben anschmiegte, und dafs eine Menge von Versuchen, deren Erfolg ihr gemäfs zum Voraus bestimmt worden war, diesen Erfolg genau auch so gaben, trug am meisten zu dem grofsen Beifalle bei, den dieselbe allgemein fand, und bis auf den heutigen Tag bei mehreren Physikern noch findet. Der Hauptgedanke in dieser Theorie ist, dafs die beiden Belege einer geladenen Leidner Flasche sich in einem Gegensatze von Ueberflufs und Mangel befinden, die im Verhältnisse gegen einander stehen, und dafs bei der Entladung die Ausgleichung des Mangels durch den Ueberflufs den natürlichen el. Zustand wieder herstelle. Die Ladung einer Flasche besteht demnach in der Anhäufung der E. auf der mit dem positiven Conductor in Verbindung stehenden Seite, welche aber nur unter der Bedingung erfolgen könne, dafs die äufsere Seite ihren natürlichen Antheil an E. abgeben könne, wodurch ein verhältnifsmäfsiger Mangel in ihr eintrete. Der zwischen den beiden Belegungen befindliche Nichtleiter verhalte sich hierbei zwar als undurchdringlich für die E., hindere aber nicht ihre Atmosphärenwirkung durch sich hindurch, vermöge welcher die E. auf der äufsern Belegung zurückgetrieben werde, sich in den allgemeinen Behältern verbreite und den Mangel zur Folge habe. Könne sich daher die Flasche ihrer E. auf der äufsern Seite nicht entledigen, wie in dem Falle, wenn sie isolirt ist, so könne sie auch nicht geladen werden. Umgekehrt finde aber auch keine Ladung statt, wenn die Maschine bei isolirtem Reibzeuge keine E. in das Innere der Flasche zuführen könne. Als besonders entscheidende Beweise für seine Theorie sah Franklin die Versuche an, dafs eine Flasche sich gleichsam durch ihr eigenes el. Fluidum lade, wenn man den unter II. f. beschriebenen Versuch anstellt, in welchem Falle die aus der äufsern Belegung abfliefsende E. durch das Reibzeug

Cc 2

bei der Bewegung der Elektrisirmaschine der inneren Belegung zugeführt werde, ferner die Ladung einer Reihe von Flaschen an einander, wo die aus der äufsern Seite der einen Flasche ausströmende E. sich auf der innern Seite der folgenden anhäufe und durch die von ihr zurückgetriebene E. der äufsern Seite der zweiten Flasche die dritte Flasche u. s. f. lade. Die Grenze der Ladung einer Flasche war dieser Theorie gemäfs durch die Menge des natürlichen Antheils von E. im Glase selbst bestimmt, mit dessen gänzlicher Austreibung auch keine weitere Anhäufung auf der innern Seite erfolgen könne. So richtig nun auch durch Franklin die wahre Beschaffenheit der Leidner Flasche in Rücksicht auf das entgegengesetzte Verhalten beider Belegungen erkannt, so sinnreich der Zusammenhang der Ladung mit den verschiedenen Bedingungen, unter denen sie erfolgt, bestimmt, und so genügend die Entladung durch die Ausgleichung des Mangels der einen Seite durch den Ueberflufs von der andern Seite her erklärt ward, so war die Theorie, wie sie von Franklin selbst[1] vorgetragen wurde, noch weit entfernt das Wesen und die Bedingungen der Ladungen mit völliger Strenge aus einem einfachen Principe zu erklären, sie stellte gleichsam nur erst eine gröbere Analyse des ganzen Vorgangs der Ladung und Entladung dar, und es mufste erst eine tiefere Einsicht in die Lehre von den el. Wirkungskreisen und der Vertheilung gewonnen werden, die wir vorzüglich den wichtigen Entdeckungen Volta's[2] verdanken, ehe die feinere Analyse gegeben werden konnte. Ich theile diese vorzüglich nach Hauy's und Biot's Darstellung mit, lege dabei die dualistische Theorie zum Grunde, wie sie unter dem Artikel Elektricität in ihren Hauptumrissen vorgetragen worden ist, bediene mich aber der Zeichen + und — für die positive und negative Elektricität und der Worte Binden und Freilassen bei den Wirkungen der Vertheilung, weil sich diese Sprache auch rückwärts in die Franklin'sche Theorie leicht übersetzen läfst, indem durch die nachfolgende Darstellung nur die Fundamentalgesetze dieses Vorganges festgehalten werden, mit welchen jede Theorie in Uebereinstimmung seyn mufs, wenn sie nicht ohne Weiteres verworfen werden soll.

---

1 S. Benj. Franklin's Briefe von der Elektricität. Aus dem Englischen übersetzt von J. C. Wilke. Leipzig 1758. 8.

2 S. *Condensator* und *Elektrophor*.

Es bezeichne D einen Theil des Conductors der Maschine, i l, n p sey die eine t o, s x die andere Belegung, und z die Kette, wodurch diese Belegung mit dem Erdboden verbunden ist. Der Vorgang der Ladung besteht nun allezeit darin, daſs die E. von dem Conductor aus, durch welchen die Ladung bewirkt wird, sich nach der Belegung, welche mit diesem Conductor verbunden ist, hinbewegt, sich daselbst anhäuft, und auf der entgegengesetzten Seite nach den allgemeinen el. Gesetzen die gleichnamige zurücktreibt und die entgegengesetzte gegen sich zieht, ohne sich jedoch wegen der Undurchdringlichkeit des Glases mit ihr verbinden zu können. Das Nähere dieses Vorganges ergiebt sich nun durch nachfolgende Analyse. p′ sey ein Theilchen von + E (bei vorausgesetzter positiver Ladung) was durch die Kette in irgend einem Zeitpuncte der Ladung entweicht, N sey das Quantum von — E, das in diesem Augenblicke der Oberfläche o x und P dasjenige von + E, das der Oberfläche i n angehört, das Theilchen p′, während es zugleich die Repulsion von P nachgiebt, ist durch die Anziehung von N sollicitirt, welche dasselbe zurück zu halten strebt, und wenn die Repulsion von P das Uebergewicht hat, so muſs die Quantität P, da dasselbe überdies aus gröſserer Entfernung im Verhältniſs der Glasesdicke wirkt, während N in unmittelbarer Berührung mit p′ steht, oder das + mehr betragen als N oder die Quantität des —. Andererseits streben die Theilchen, welche das Fluidum N ausmachen, sich wegen ihrer Repulsivkraft zu fliehen. Diese Kraft ist aber durch die von P gebunden oder durch die Anziehung des P zum N aufgehoben, indem die Theilchen von P durch die Zahl das ersetzen, was sie von Seiten der Entfernung einbüſsen. Die Theilchen von P sind gleichfalls durch ihre Repulsivkraft sollicitirt, sich zu fliehen und zu zerstreuen, und diese Kraft kann durch die Anziehung von N nicht ganz überwältigt werden, dessen Quantum geringer ist, und das aus einer gröſseren Entfernung wirkt, als die Repulsion, von der hier die Rede ist. Es muſs also ein Ueberschuſs von P da seyn, der nur durch den Widerstand der Luft zurückgehalten wird, und der die freie Spannung auf derjenigen Seite bildet, von welcher die Ladung ausgeht. Man kann sich also vorstellen, daſs das P auf der einen Seite aus einer Portion U bestehe, welche längs i n durch die Anziehung von N gebunden und zurückgehalten ist, und aus einer andern Portion

U, dessen Theilchen kein anderes Hindernifs für die Wirkung ihrer wechselseitigen Repulsion finden, als den Widerstand der Luft, und welche durch das Elektrometer angezeigt werden. Das Quantum U wird immer geringer seyn als N, weil es trotz der Entfernung, welche durch die Dicke des Glases gegeben ist, doch durch N vollkommen neutralisirt und gebunden wird. Wenn man fortfährt durch den Leiter D E. zuzuführen, so wird die Quantität des +E, um welches P zunimmt, die Zersetzung oder Vertheilung eines neuen Antheils des natürlichen Fluidums oder des 0 E., das in o x und den damit verbundenen Körpern vorhanden ist, bestimmen, aber zugleich wird die Anziehung von N, das an Menge zugenommen hat, in Beziehung auf jedes neue Theilchen p', das zu entweichen strebt, zunehmen, wodurch dann nothwendig erfordert wird, daſs die Quantität u von +E, die dasjenige, was die Wirksamkeit von +E wegen der Entfernung einbüſst, zu ersetzen hat, ihrerseits wieder zunehme, und es wird endlich ein Zeitpunct eintreten, wo die Portion u von +E gerade so viel Kraft erlangt haben wird, als erforderlich ist, um dem Widerstande der Luft vollkommen das Gleichgewicht zu halten. Ueber diesen Zeitpunct hinaus werden alle neue Theilchen von +E, welche der Conductor D nach und nach liefert, allmälig entweichen (Ausströmen der Flasche) d. h. die Glasplatte, oder statt deren die Ladungsflasche wird sich auf ihrem Sättigungspuncte befinden, denn alsdann kann kein neuer Antheil von 0 E in den mit o x verbundenen Körpern zersetzt, kein p' mehr zurückgetrieben, und kein n' angezogen werden, weil eben so stark als die Kraft von P wirken würde, um ein Theilchen +E, welches aus der Verbindung treten sollte, zurückzutreiben, eben so stark die Anziehung von N die auf Zurückhaltung des Theilchens gerichtet ist, entgegenwirken würde. Nimmt man in diesem Zustande die Kette ab und berührt die Oberfläche o x, so verändert sich nichts, weil im Wesentlichen alles beim Alten geblieben ist, bringt man dagegen den Finger gegen die Oberfläche i n, so findet nicht weiter ein Gleichgewicht statt, weil dann nichts der Wirkung der Portion u des auf dieser Oberfläche befindlichen Fluidums das Gleichgewicht hält, die nur durch den Widerstand der Luft zurückgehalten ist. Sie wird also in den Finger als ein stechender Funke übergehen, wie ihn ein gewöhnlicher Conductor von gleicher Oberfläche,

an welchem die freie E. dieselbe Spannung hätte, geben würde, und die freie Spannung auf dieser Seite wird gänzlich aufhören. Die Portion U hingegen wird fortdauernd durch die Anziehung des Fluidums N in i n zurückgehalten werden, und das Gleichgewicht wird zwischen den el. Kräften in Beziehung auf die verschiedenen Puncte dieser Oberfläche i n hergestellt seyn. Es wird aber auf der Oberfläche o x eine Störung erlitten haben, weil die Portion des negativen Fluidums, welche durch die Anziehung von u zurückgehalten war, die der Finger wegnahm, nunmehro nur noch durch die umgebende Luft zurückgehalten wird. Die Oberfläche o x wird daher jetzt freie Spannung zeigen und einen Funken geben. So wie man diesen entzogen hat, wird abermals auf der Oberfläche i n sich freie Spannung zeigen müssen, weil das P auf derselben, welches durch das N nur mit Hülfe der durch den Finger entzogenen Portion vollkommen gebunden war, nicht mehr gänzlich im Gleichgewicht gehalten und folglich ein verhältnifsmäfsiger Theil abermals nur durch den Widerstand der Luft zurückgehalten wird, und an den genäherten Finger wieder einen Funken giebt, durch welches abwechselnde Funkennehmen von den beiden Belegungen man also gemäfs III. c. die Platte oder Flasche allmälig entladen kann.

Das Gesetz dieser allmäligen Entladung läfst sich nach Biot[1] auf folgende Weise bestimmen. Es drücke in dem Augenblicke, da die Zuleitungskette und der Conductor von den beiden Belegungen der Platte weggenommen worden sind und folglich auf der einen Seite, wenn die Ladung vom positiven Conductor aus erfolgt ist, mehr $+$E, als auf der andern Seite $-$e sich befindet, 1 : m das Verhältnifs von E : e aus, indem m einen eigentlichen Bruch, kleiner als 1, bezeichnet und eine gewisse Function von der Dicke der Glasplatte oder überhaupt des belegten Nichtleiters seyn wird. Die Proportion $E : e = 1 : m$ kann man auch durch die Gleichung $mE - e = 0$ darstellen. Berührt man nun die Belegung i n mit dem Finger, so verliert diese, wie schon bemerkt, einen Theil ihres $+$E, und dagegen wird ein Theil von $-$e in o x frei, wodurch sich das Verhältnifs von e zu E gerade umkehrt, und so geht es bei jeder wechselsweise erfolgenden Berührung der

1 Traité de Physique expérimentale et mathématique Tome II. p. 382 f.

beiden Belegungen. Nennt man daher die Menge der E vor und nach den verschiedenen Berührungen in

in	und	ox
E		e
E'		e'
E''		e''

so erhält man folgende Gleichungen und Proportionen

$$mE - e = 0 \qquad E : e = 1 : m$$
$$E' - me = 0 \qquad e : E' = 1 : m$$
$$mE' - e' = 0 \qquad E' : e' = 1 : m$$
$$E'' - me' = 0 \qquad e' : E'' = 1 : m$$
$$mE'' - e'' = 0 \qquad E'' : e'' = 1 : m$$

woraus ferner folgt

$$E' = m^2 E \qquad e' = m^2 e = m^3 E$$
$$E'' = m^2 E' = m^4 E \qquad e'' = m^2 e' = m^5 E.$$
$$E - E' = (1 - m^2) E \qquad e - e' = (1 - m^2) e = (1 - m^2) mE.$$
$$E'' - E' = (1 - m^2) E' = (1 - m^2) m^2 E; \quad e'' - e' = (1 - m^2) e' = (1 - m^2) m^3 E.$$

Die Verluste von E., welche die Belegungen in und ox abwechselnd durch die Berührung erleiden, bilden also eine abnehmende geometrische Reihe, deren erstes Glied $(1 - m^2)$ und deren Exponent m ist.

An diese mathematische Bestimmung schliefst sich unmittelbar eine gleich genaue Bestimmung des Gesetzes der Ladung mehrerer Flaschen zugleich an, deren äufsere und innere Belegungen abwechselnd in leitende Verbindungen gesetzt werden und auf welches ich unter II. h vorläufig hingewiesen habe. A, B, C, seyen drei belegte Nichtleiter z. B. Glasplatten von gleicher Dimension und Beschaffenheit, wovon je zwei auf die vorerwähnte Art in leitender Verbindung sind, überdies sey die innere, oder sofern es Glasplatten sind, vordere Belegung des ersten Nichtleiters mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, die äufsere oder hintere Belegung der letzten C mit dem Boden in leitender Verbindung. Nach geschehener Ladung finden folgende Bedingungen statt:

für A	$mE - e = 0$
für A und B	$-e + E' = 0$
für B	$mE' - e = 0$
für B und C	$-e' + E'' = 0$
für C	$mE'' - e'' = 0$
Daraus folgt	$E' = mE$
	$E'' = mE' = m^2 E$
	$e' = mE' = m^2 E$
	$e'' = mE'' = m^2 e = m^3 E.$

die Ladung der einzelnen Belegungen bildet demnach eine abnehmende geometrische Reihe, deren erstes Glied und deren Exponent m ist.

Alle Phänomene der Entladung einer Flasche durch den el. Schlag nach III. a, der Vertheilung der Ladung einer Flasche nach III. g, der Aufhebung der Ladung durch eine entgegengesetzte nach III. f erklären sich von selbst nach der hier aufgestellten Theorie.

Bringt man beide Hände auf einmal an die äufsere und innere Belegung, so fallen alle die Effecte, die bei der allmäligen Entladung successiv waren, gleichsam in einem Augenblicke zusammen. Hierbei mufs man sich vorstellen, dafs das + E aus dem 0 der Leiter, welche den Verbindungskreis bilden — E anzieht und + E zurücktreibt, und gegentheils das — E der entgegengesetzten Belegung + E oder 0 anzieht, und — E zurücktreibt, die dann ihrer Seits wieder 0 zersetzen, so dafs gleichsam in abwechselnden Zonen diese Ausgleichung des + und — von beiden Seiten erfolgt, welches man gewöhnlich den el. Strom oder, bei der Annahme zweier Materien, die el. Ströme nennt. Dafs indefs auch bei dieser aus dem Gesetze der Vertheilung von selbst sich als nothwendig ergebenden Art der Ausgleichung doch eine wirkliche Durchströmung eines Theils des in der Flasche selbst gebunden gewesenen und in der Entdeckung frei werdenden + und — durch die Leiter, welche die Verbindung zwischen den beiden Belegen bilden, statt finde, ergiebt sich daraus, dafs einerseits das + andererseits das — jene Zersetzung des 0 nur durch seine überwiegende Quantität bewirken kann und also in dem ganzen Fortgange durch den Verbindungskreis ein jedoch fortdauernd abnehmender Antheil von freiem + und — der Flasche selbst sich finden mufs, bis diese sich selbst unter einander ausgeglichen haben. Auch läfst es sich bei einer sehr grofsen Geschwindigkeit der Bildung durch die vollkommensten Leiter, wie die Metalle sind, recht wohl denken, dafs es zu einer solchen Bildung von abwechselnden Zonen gar nicht einmal kommt.

Dafs bei der Entladung durch einen isolirten Auslader kein vollkommenes Gleichgewicht hergestellt wird, sondern stets ein Antheil der E. derjenigen Seite, von welcher die Ladung ausging, im Ueberschusse sich zeigt, folgt nothwendig daraus, dafs das ganze Quantum der $\pm$ E. auf dieser Seite mehr beträgt als

das ∓ E, welches durch ersteres auf der entgegengesetzten Seite vollkommen gebunden gehalten wurde, und folglich, man mag das ± der einen Seite mit dem ∓ der andern Seite sich unmittelbar oder nur mittelbar durch ∓, welches von dem ± der andern Seite aus dem 0 frei gemacht wird, ausgleichen lassen, immer ein Theil ± ohne ihm entsprechendes ∓ frei bleiben wird.

Die Art, wie die Stärke der Ladung von allen Umständen abhängt, die auf dieselbe den Versuchen zufolge, Einfluſs haben, leuchtet ebenfalls ein. Je dünner das Glas der Flasche oder Ladungsplatte ist, um so stärker muſs sie sich unter übrigens gleichen Umständen laden. Denn einerseits wirkt das + der Seite i n mit mehr Energie auf das der entgegengesetzten Seite im Verhältnisse der geringeren Entfernung der beiden Flächen von einander, andererseits wird das — der Fläche o t s x, da es in gröſserer Menge da ist, im Stande seyn durch seine Anziehung eine gröſsere Menge des + auf der Seite i l p n zurückzuhalten, wovon die Folge ist, daſs der Sättigungspunct später eintreten wird, als wenn das Glas dicker wäre. Eben so werden bei geringerer Glasesdicke die Quantitäten des + und — weniger von einander abweichen, oder was auf eins hinauskommt, die Quantität u, die dasjenige ersetzt, was die Kraft des + auf der Seite i n l p in Hinsicht auf die Entfernung verliert, und die überhaupt eine Function der Glasesdicke ist, wird im Verhältniſs des U kleiner seyn, weil die Entfernung selbst vermindert ist, und also bei gleicher Quantität u die Summe von u + U oder die Ladung im Ganzen um so gröſser ausfallen, dergestalt daſs die Quantität u Null seyn wird, wenn man die Dicke des Glases verschwindend annimmt. Doch versteht es sich von selbst, daſs in der Praxis eine gewisse Dünnheit nicht überschritten werden darf, weil sonst der Widerstand gegen den Drang der E., die sich zu vereinigen streben, zu klein und noch vor Eintritt des Maximums der Ladung ein Durchbruch erfolgen würde. Ob die Capacität einer Flasche oder Glasplatte bei gleicher Gröſse der Belegung sich umgekehrt wie die Glasesdicke verhalte, wie CAVENDISH [1] gefunden haben will, verdient indeſs eine neue Prüfung. Da die Quantität, bis zu welcher u zunehmen kann, eine Function der Dichtigkeit der Luft ist, indem diese in dem Verhältnisse ihrer Dichtigkeit Widerstand

Fig. 58.

---

1 Phil. Trans. Vol. LXVI. p. 196.

leistet und bei gröſserer Dichtigkeit einer gröſseren Menge das Gleichgewicht hält, unter übrigens gleichen Umständen aber die Gröſse der Ladung sich nach der Quantität des u richtet, so muſs dieselbe Flasche in dichterer Luft sich stärker laden lassen, als in dünnerer, und im vollkommen leeren Raume kann eben darum keine Ladung statt finden.

Man übersieht leicht, daſs sich alles was beim *Condensator* und *Duplicator* über die Ladung derselben, über ihre Capacität, Tenacität, angeführt wurde, ohne weiteres auch auf die Ladungsplatte und Flasche anwenden läſst und daſs der Condensator selbst nichts anderes als ein Ladungsapparat mit einer sehr dünnen Schicht eines Nichtleiters, so wie umgekehrt die Ladungsplatte ein Condensator mit einer viel gröſseren Dicke des Nichtleiters ist. Bei jenem ist das U im Verhältniſs gegen das u bei weitem beträchtlicher, oder seine Capacität ist bei gleicher Oberfläche im Verhältniſs der gröſseren Dünnheit der isolirenden Schicht bei weitem gröſser, aber das u darf nur einen sehr schwachen Grad erreichen, und daher kann die Ladung nicht weiter getrieben werden, weil über diesen schwachen Grad hinaus eine Entladung durch die dünne Schicht von Firniſs oder die Luftschicht erfolgt; bei der Ladungsplatte beträgt das U im Verhältnisse des u viel weniger, aber das u erreicht einen so viel höheren Grad, je stärker der Widerstand der isolirenden Schicht ist, welcher eben deswegen nicht zu geringe seyn darf, damit die ganze Ladung auf einen ohne Vergleich viel höheren Grad getrieben werden kann.

Der Rückstand der Ladung III. e erklärt sich daraus, daſs das Glas nicht absolut, sondern nur relativ undurchdringlich für das el. Fluidum ist. So wie die Ladung zunimmt, wird ohne Zweifel mehr und mehr das el. Fluidum durch die Repulsivkraft seiner Theilchen in das Glas hineingepreſst, da sein Drang vorzüglich einwärts gegen das auf der anderen Seite angehäufte entgegengesetzte Fluidum gerichtet ist. Im Augenblicke der ersten Entladung gleicht sich nur dasjenige Fluidum mit seinem Gegensatze aus, das sich im verdichteten Zustande zunächst an der Oberfläche des Glases befindet, da wegen der Hemmung, welche das Glas der Fortleitung entgegensetzt, das mehr nach Innen befindliche nicht schnell genug hinzuströmen kann. Da nun aber die repulsive Kraft, welche diesen Theil vorher noch einwärts drängte, durch die Entladung selbst entfernt ist, so

zieht er sich mit dem Grade freier Expansivkraft, die ihm zukommt, und die vorher im Gleichgewichte gehalten war, allmälig nach aufsen, und giebt zu einer zweiten Entladung Veranlassung, da auch hier mit einem u' ein U' im Verhältnisse steht, und man begreift leicht, dafs bei grofser Capacität selbst bei sehr geringer Spannung noch hinlänglicher Vorrath für eine dritte und vierte Entladung vorhanden seyn kann. Dafs die E. von der Belegung auf das Glas selbst übergehe, kann nach den unter II. m angeführten Erscheinungen nicht bezweifelt werden. Dafs das Eindringen derselben in die Substanz des Glases sich nur auf die ersten an Dicke gleichsam verschwindenden Schichten beziehe, erhellet daraus, dafs nach Cavallo [1] Glaskugeln, die kaum $\frac{1}{600}$ Zoll dick sind, sich noch sehr gut laden lassen, und ihre Ladung lange Zeit behalten. Unter günstigen Umständen mag indefs doch eine Durchdringung des Glases ohne Aufhebung seiner Cohäsion statt finden können. Canton ladete einige sehr dünne Glaskugeln von 1,5 Zoll im Durchmesser, welche ohngefähr 9 Z. lange Röhren hatten, und versiegelte sie nach dem Laden hermetisch. Wenn man an diese Kugeln, wenn sie kalt waren, ein Elektrometer brachte, so zeigten sie keine E., wenn man sie aber ein wenig ans Feuer hielt, so fand man sie stark elektrisch und sie zeigten diejenige Art der E. mit der ihre innere Seite geladen war. Wurde dieser Versuch oft wiederholt, so verloren diese Glaskugeln bald ihre Kraft, dagegen ruhig unter Wasser aufbewaht behielten sie ihre Kraft Jahre lang. Dieser letztere Umstand scheint zu beweisen, dafs die Wärme nicht etwa das Glas zu einem bessern Leiter der vertheilenden Wirkung der E. macht, sondern zu einem bessern Leiter durch sich selbst hindurch, so dafs die im Innern angehäufte E. sich allmälg nach aufsen zieht und zerstreut, denn dafs die auf der äufsern Seite befindliche E. die im Innern angehäufte nicht ganz binden könnte, sondern dafs letztere bei diesem allmäligen Durchgange stets mit freier Spannung auftreten mufste, bedarf nach dem obigen keiner weiteren Auseinandersetzung. Aus der Erhöhung der leitenden Kraft des Glases durch die Erwärmung erklärt sich dann auch, wie sich die letzten Spuren der Ladung einer Flasche, nachdem die beiden Belegungen durch einen Auslader längere Zeit in Verbindung geblieben sind,

---

1 a. a. O. I. Bd. S. 295.

zum Vorschein bringen lassen, wenn man die Flasche erwärmt. Wenn auch diese kleinen Reste nicht im Stande sind, die leiseste Erschütterung zu geben, so kann man sie doch durch die Ladung des Condensators sehr merklich machen, wie READ [1] zuerst gezeigt hat.

Die starken Wirkungen der geladenen Flaschen in Ertheilung heftiger Erschütterungen, die kräftigen mechanischen und chemischen Wirkungen derselben [2] haben nichts auffallendes, sobald man nur auf die grofse Capacität dieser Flaschen für E. gehörige Rücksicht nimmt, und dafs bei einer gegebenen Spannung sich in dem Verhältnisse dieser Capacität, die von der Gegenwirkung der El. auf der andern Seite abhängt, weit mehr E. auf derselben Oberfläche befindet, als auf der eines gewöhnlichen Leiters, welcher blofs von der Luft umgeben ist. Diese viel gröfsere Quantität mufs, da in der Explosion ihre ganze Wirksamkeit sich gleichsam in einen Augenblick concentrirt, auch um so gröfsere Wirkungen hervorbringen. Richtet man die Umstände so ein, dafs auch von den Conductoren der Elektrisirmaschine eine verhältnifsmäfsig gleich grofse Quantität in ihren Funken auf einmal zur Wirksamkeit kommt, so kann man mit diesem sogenannten einfachen Funken alle Wirkungen der verstärkten E. nachahmen, wie VOLTA zuerst in das hellste Licht gesetzt hat [3]. Sehr lange und dünne Conductoren, die bei gleicher Oberfläche eine viel gröfsere Capacität als kurze Conductoren von einem grofsen Durchmesser haben, geben keine schneidende, sondern ganz dieselben erschütternden Funken, die bis in die Brust dringen wie von kleinen Leidner Flaschen, wenn man mit dem zum feuchten Erdboden oder in einen Brunnen führenden Ableitungsdrahte in Verbindung steht. Steht man auf dem blofsen Fufsboden von Brettern, und zieht man den Funken aus einem solchen langen und dünnen Conductor wie derjenige VOLTA's, welcher 96 Fufs Länge und nur 6 Linien im Durchmesser hatte, so erhält man dieselben kurzen, röthlichen, zischenden und gleichsam fressend nagenden Funken, welche man aus dem Leiter erhält, an welchem eine Leidner

1 Summary View of the spontaneous Electricity p. 16.

2 Vgl. *Batterie* und *Schlag, elektrischer.*

3 In seiner interessanten Abhandlung über die Capacität der el. Leiter u. s. w. Alex. Volta's Schriften u. s. w. v. Dr. Nasse. Halle 1803.

Flasche geladen wird. Volta fand die Capacität jenes Conductors gleich derjenigen einer Flasche oder mäſsig dünnen Glasplatte von 4 Quadratzoll Belegung, und bei gleicher Spannung die Wirkung so gut wie vollkommen übereinstimmend.

Die merkwürdige Erfahrung Cuthbertson's, daſs sich die Flaschen auf einen höhern Grad laden lassen, wenn der innere unbelegte Theil schwach angehäuft wird, und damit einen dünnen Ueberzug von Feuchtigkeit erhält, erklärt sich daraus, daſs sich die E. auch an diesen Theil der Oberfläche hinzieht, ohne jedoch sich hier von einem Puncte aus wegen des Anhaftens an die Glasfläche und der unvollkommenen Leitung dieses Ueberzugs auf einmal entladen zu können, während die Repulsivkraft der hier haftenden E. durch ihre Entgegenwirkung zugleich die Selbstentladung des innern Beleges und des zuführenden Drahtes verhindert, da diese durch ein Hinausstreben der auf denselben verdichteten E. durch ihre Repulsivkraft bedingt ist [1].

Es ist schon oben bemerkt, daſs die bisher mitgetheilte Erklärung, welche zwei gleich reelle el. Materien oder Erregungen voraussetzt, sich leicht auch in die Sprache des *Monoelektricismus* übersetzen lassen. Die Hauptverschiedenheit, die in jeder besondern Erklärung wiederkehrt, reducirt sich darauf, daſs nach der ersten Theorie eine Wechselwirkung und die concurrirende Thätigkeit anziehender und repulsiver Kräfte in Betracht gezogen werden muſs, nach der Theorie *einer* Materie dagegen nur eine *einseitige* Thätigkeit und eine einfache Wirkung einer Repulsivkraft, die sich allenthalben ins Gleichgewicht zu setzen sucht, zu berücksichtigen ist. Gerade aber die Erscheinungen der Leidner Flasche und die sie begleitenden Wirkungen sind von mehreren Physikern als vorzüglich entscheidende Beweise für die Richtigkeit der Franklin'schen Theorie angesehen worden, und man hat sich in dieser Hinsicht besonders auf gewisse Versuche als experimenta crucis berufen. Ehe ich diese einer besondern Erörterung unterwerfe, mögen noch zwei Theorien des Kleist'schen Versuchs hier als am schicklichsten Orte gewürdigt werden, wovon die eine mit der Theorie zweier Materien zwar nahe verwandt ist, doch aber in einigen wesentlichen Puncten von derselben abweicht, die andere dagegen sowohl mit dieser als jeder andern Erklärung,

---

1 Vgl. G. II. 18 f. und bes. die Anm. S. 19.

welche ein el. Fluidum ihrer Constructionen der Phänomene zum Grunde legt, im geraden Widerspruche steht.

Die eine Erklärung ist von De Lüc, der seine Theorie der E., von welcher bereits die Grundzüge unter dem Artikel: *Elektricität* mitgetheilt sind, auch auf die Erklärung der Phänomene der Ladung angewandt hat. Zur Verdeutlichung nimmt de Lüc auch hier die Analogie zwischen dem el. Fluidum und den Wasserdämpfen zu Hülfe. Man denke sich eine Glasplatte von beiden Seiten mit Wasser umfaſst, gegen deren eine Seite A sich heiſse Wasserdünste bewegen. So wie diese an die kältere Platte kommen, erkalten sie, ihr frei gewordenes Feuer (das fortleitende Fluidum derselben) verbreitet sich über die ganze Platte, und das von ihm verlassene Wasser vermehrt dasjenige Wasser, womit die Seite A schon vorher bedeckt war. Das hinzugekommene frei gewordene Feuer dringt aber durch die Glasplatte auf die Seite B, verstärkt daselbst die Ausdünstung und vermindert also das Wasser, das B bekleidete. Diese Veränderungen gehen so lange fort, bis Glasplatte und Wasser die Temperatur der heiſsen Dünste angenommen haben. Alsdann hören die Dünste auf, sich bei A zu zersetzen, es geht kein Feuer mehr nach B über und die ungleiche Vertheilung des Wassers in A und B hat ihr Gröſstes erreicht. Weil B weiter von der Quelle der Wärme abliegt, so kann es ein wenig kälter als A seyn und die Dünste können etwas weniger ausdehnende Kraft bei B haben als bei A.

Etwas ganz Analoges geschieht bei der Ladung der Kleist'schen Flasche. Man darf nur für Dünste Elektricität, für Feuer fortleitendes el. Fluidum, für Wasser elektrische Materie setzen, so sieht man, warum die eine Seite bis zu einem gewissen Gröſsten el. Materie verlieren muſs, indem die andere mehr erhält, wofern jene nur mit dem Boden verbunden ist, als der Bedingung, unter welcher für die Entweichung der E. und in ihr der el. Materie derselbe Fall eintritt, wie für die Abnahme des Wassers auf der Seite B durch Ausdünstung. Am Ende der Ladung hat dann A el. Materie gewonnen, B dergleichen verloren, aber der Gewinn im A ist gröſser als der Verlust in B, weil der Hang des fortleitenden Fluidums von A nach B zu gehen durch die Entfernung, die das Glas zwischen sie setzt, geschwächt wird. Die E. in A hat so viel ausdehnende Kraft als die in der Quelle, welche die Ladung hervorgebracht hat; die in B so viel als die

im Boden, welcher mit A in Verbindung ist; das fortleitende Fluidum aber (nach dem Beispiele des Feuers in dem zuerst angenommenen Falle) hat in der ganzen Flasche an Menge zugenommen und ist durch A und B fast gleich vertheilt. Den Vorgang der allmäligen Entladung durch Funken, die man abwechselnd aus der innern und äufsern Belegung nimmt, wobei man jedesmal bei dem Knopfe oder überhaupt bei der Seite, die mit dem Conductor in Verbindung gewesen ist, den Anfang machen muſs, erklärt diese Theorie auf folgende Weise. B ist mit dem Boden im Gleichgewichte, also ist die Berührung davon unwirksam. A aber giebt so viel E. ab, als der Stärke des ladenden Conductors gemäſs ist, weil es mit diesem gleiche ausdehnende Kraft hat. Dadurch geht fortleitendes Fluidum aus dem ganzen Apparate, also auch aus B hinein; dadurch verliert B an ausdehnender Kraft, und kommt aus dem Gleichgewichte mit dem Boden. Berührt man nun B, so geht mit einem Funken zur Wiederherstellung des Gleichgewichts el. Fluidum auf dasselbe über, dieses giebt die el. Materie an B ab, sein fortleitendes Fluidum vertheilt sich aber durch den ganzen Apparat, und gelangt also auch durch das Glas hindurch nach A, das dadurch wieder an ausdehnender Kraft zunimmt, und das Gleichgewicht mit dem Boden verliert. Daher kann man nun wieder einen Funken aus A ziehen u. s. f. So verliert A bei jedem Funken etwas el. Materie, B bekommt aber bei jedem neue, bis endlich durch Fortsetzung des Verfahrens beide fast gleichviel haben und die Flasche entladen ist. Die plötzliche Entladung ist nichts anders, als eine schnelle Succession eben derselben Wirkungen. Die Entladung aber ist nie vollständig, weil die el. Materie an die nicht leitende Substanz sich fest anhängt.

So genau auch diese Erklärung sich an die Erscheinungen der Leidner Flasche anschmiegt, und von den wichtigsten Modificationen derselben genügende Rechenschaft zu geben scheint, so stehen ihr doch aufser den Einwürfen, die ich unter dem Artikel *Elektricität* gegen die Theorie im Allgemeinen geltend gemacht habe, noch besondere Schwierigkeiten entgegen. Es müſste nämlich offenbar die Gröſse des unbelegten Randes bei gleicher Gröſse der Belegungen einen bedeutenden Einfluſs auf die Ladung haben, da das durch die Zersetzung des el. Fluidums auf der mit dem Conductor in Verbindung stehenden Seite freigewordene fortleitende Fluidum bei einer gröſseren Ausdeh-

nung dieses unbelegten Randes sich auf der Oberfläche desselben und in der Masse des zu demselben gehörigen Gases in verhältnifsmäfsig gröfserer Menge verbreiten und also der Verlust von el. Materie auf der entgegengesetzten Seite verhältnifsmäfsig geringer ausfallen würde, gerade so wie bei einer Glastafel, die auf beiden Seiten in der Ausdehnung der Belegungen einer Ladungsplatte mit Wasser bedeckt wäre, bei der Zuführung einer gleichen Menge von Wasserdämpfen die Verdunstung des Wassers auf der entgegengesetzten Seite bei einer gröfseren Ausdehnung der Glasplatte geringer ausfallen müfste, weil weniger Wärme von den zersetzten Dämpfen dahin gelangen würde; es müfsten sich bei gleicher Glasesdicke und gleicher Gröfse der Belegung und bei gleichem Zuflusse aus einer Elektricitätsquelle die verschiedensten el. Zustände auf der entgegengesetzten Seite einfinden können, und die negative Ladung, die lediglich von der Menge des nach der entgegengesetzten Seite gelangenden fortleitenden Fluidums abhängt, in den verschiedensten Verhältnissen mit der positiven Ladung stehen, wovon aber nicht die geringste Andeutung in der Erscheinung liegt. Da ferner zur Erklärung der plötzlichen Entladung durch Verbindungen der beiden Belegungen durch einen Leiter ein gleichsam instantanes Durchströmen des fortleitenden Fluidums durch die ganze Dicke des Glases angenommen werden mufs, so würde daraus folgen, dafs die Ungleichheit in der ausdehnenden Kraft auf den beiden Seiten, worauf die freie Spannung der positiv geladenen Seite beruht, und wovon eben die Dicke des Glases die Ursache seyn soll, sich in sehr kurzer Zeit ausgleichen, und beide Belegungen dann ein Uebergewicht von freier Spannung in Beziehung auf die im natürlichen Zustande befindlichen Körper zeigen müfsten, womit aber gleichfalls die Erfahrung nicht übereinstimmt.

Von einer ganz andern Art, als die eben mitgetheilte, ist die Erklärung, welche neuerlich G. F. Pohl[1] im Zusammenhange mit einer durchgreifenden dynamischen Darstellung des Galvanismus, Elektricismus, Chemismus und Magnetismus von den Phänomenen der Ladung gegeben hat, und welche hier eine Erwähnung verdient, da sie sich nicht auf eine blofse An-

---

1 Der Procefs der galvanischen Kette. Berlin 1826. S. 338.

deutung im Allgemeinen beschränkt, sondern in das Einzelne der Erscheinungen eingeht, und von manchen Lesern in Deutschland auf die sogenannten naturphilosophischen Formeln immer noch ein Werth gelegt wird. Ihm zufolge ist die el. Ladung ganz übereinstimmend mit dem Vorgange, welcher statt findet, wenn ein Element der Ritter'schen Ladungssäule[1] zwischen die Pole einer galvanischen Säule eingeschlossen ist. Der Hauptleiter soll sich nämlich zwischen dem geriebenen Glase der Elektrisirmaschine und dem Glase der Verstärkungsflasche, so wie eine zwischen zwei flüssigen Schichten in der Ladungssäule liegende Metallplatte in zwei Erregungszonen theilen; er soll nach der Maschine hin positiv bleiben, nach dem Glase hin negativ werden, in gleicher Art soll die Leitung zwischen dem äufsern Belege und dem Reibzeuge (der kräftigsten Art zu laden) nach jener hin positiv, nach diesem hin negativ, und zwischen beiden das Glas in der Berührung mit dem innern Belege positiv, mit dem äufsern negativ erregt seyn. Je mehr die Spannung in der Erregung beider Belege wächst, und sich reagirend zum Ueberschlagen nach der entgegengesetzten Seite hinneigt, um so beharrlicher tritt ihr die bindende Erregung des Glases auf seinen beiden Seiten entgegen. So wie aber die Flasche den geschlossenen Kreis der Kette verläfst, tritt die Macht der Reaction des Metalls gewaltsam hervor, und das Glas vermag nicht mehr so vollständig zu fesseln. Es behauptet sich zwar gegen die innere Belegung zu in der positiven Erregung, und hält diese auf der inneren ihm zugewandten Seite in der negativen Erregung fest, aber nach aufsen hin ist jetzt dieselbe Belegung durch Reaction überwiegend positiv. Eben so ist das Glas nach der äufsern Belegung zu negativ, und also ist diese auf der innern, dem Glase zugekehrten, Fläche positiv, aber nach aufsen hin ist dieselbe Belegung durch Reaction überwiegend negativ thätig. Wird in diesem Zustande eine von beiden, etwa die innere, isolirt vom Glase aufgehoben, so zeigt sie durchgehends eine positive Erregung, die aber bei weitem nicht mehr so stark erscheint, als sie vorher während der Verbindung mit dem Glase war, weil der gröfsere Theil der überwiegend reagirenden positiven Thätigkeit in der frei gewordenen negativen Erregung, die so lange durch die positive Erregung des

---

1 S. *Galvanismus und Säule, Volta'sche.*

Glases gebunden wurde, erloschen ist. Bei der Entladung findet keine vollkommene Indifferenzirung statt, sondern dieser der Schliefsung einer Kette zu vergleichende Vorgang kann nur das Erlöschen der überwiegenden positiven Erregung der innern Belegung in der entgegengesetzten negativen Thätigkeit der äufseren zur Folge haben, während die negative Erregung der innern Belegung durch die positive des Glases, so wie die positive der äufsern Belegung durch die negative des Glases gebunden bleibt. Nach dieser Schliefsung ist also das Ganze vollkommen in dem Zustande eines von Beleg zu Beleg geschlossenen Elektrophors. Aber mit dieser ersten ursprünglichen Schliefsung der Flasche geschieht unmittelbar an ihr selbst noch mehr als eine blofse Indifferenzirung der überwiegenden reagirenden Thätigkeiten beider Belegungen, vielmehr tritt das Glas während der unmittelbaren Verbindung derselben abermals mit aufs Neue gereizter Kraft in gesteigerte eigene Erregung der Erregung der beiden Belegungen entgegen, und bindet aufser dem Antheile, der es vorher schon im Widerstreite mit dem mächtigen Drange der Reaction des Metalls gefesselt hielt, auf jeder Seite noch ein gewisses Quantum der in der Belegung theils vorhandenen, theils neu hervorgerufenen Erregung mehr, welches um so gröfser ist, je gröfser die Intensität der Thätigkeit des Ganzen, und die sogenannte Ladung ursprünglich war. Unmittelbar nach diesem Momente binden sich alsdann, wenn die Schliefsung aufgehoben wird, die entgegengesetzten Erregungen auf jeder Seite vollkommen, und es findet scheinbar das entschiedenste Gleichgewicht statt. Nach einiger Zeit aber vermag das Glas dem Drange der Reaction des Metalls mit derselben Energie der Thätigkeit, zu welcher es im Momente der Schliefsung gereizt wurde, nicht ferner mehr das Gleichgewicht zu halten, es sinkt allmälig wieder auf einen geringern Grad der Erregungsthätigkeit herab, und das innere Beleg reagirt aufs Neue mit positiv, das äufsere mit negativ thätiger Erregung, nur, wie sich von selbst versteht, in schwächerem Grade als in der ursprünglichen Ladung, und diese durch eine zweite und dritte Schliefsung nur immer schwächer wieder hervorzurufende und gleichsam eine neue Ladung darstellende Reaction bildet das, was man gewöhnlich den Rückstand der Ladung genannt hat, und was bei der gewöhnlichen Deutung als ein blofs zufalliges (?!) Phänomen erscheint, während es dieser Ansicht

zufolge in einem nothwendigen und gesetzmäſsigen Zusammenhange mit der Ladung steht.

So viele neue Kräfte und Wirkungsgesetze als hier postulirt werden, um die Erscheinungen mit einander zu verknüpfen, können nur zugelassen werden, wenn mit strenger Genauigkeit nachgewiesen ist, daſs die bisherigen Erklärungen auf keine Weise zureichen, und daſs eben diese Kräfte ein fruchtbares Erklärungsprincip nicht bloſs für diese abgerissenen Phänomene, sondern für eine groſse Mannigfaltigkeit anderer, theils zu einer Classe mit diesen gehörigen, theils verwandter Erscheinungen abgehen, und daſs dadurch überhaupt unsere Naturansicht mehr Einheit, Consequenz und Schärfe gewinnt. Wie wenig dieses indeſs durch die mitgetheilte dynamische Darstellung geleistet werde, wie sehr alles Maſs dabei auſser Acht gelassen sey, davon werde ich im Artikel: *Galvanismus* Rechenschaft zu geben suchen, in Beziehung auf welchen G. F. Pohl's Erklärung darum Aufmerksamkeit verdient, weil sie Schwierigkeiten zu heben scheint, welche die herrschenden Ansichten übrig lassen. Indeſs durch den Widerspruch der Erscheinungen selbst mit dieser dynamischen Erklärung, der sich schon auf diesem beschränkteren Gebiete zeigt, muſs sie verdächtig werden. Es ist nämlich unrichtig, daſs die positive Belegung, wenn sie vom Glase entfernt wird, an Spannung abnehme, wie das Gegentheil davon bereits aus dem im Jahre 1762 von Wilke[1] angestellten Versuchen hervorgeht, und wenn das positiv erregte Glas im Augenblicke der Entladung gleichsam aufgereizt (!) mehr negative Erregung hervorzurufen und zu fesseln vermag, als später, wenn seine Kraft, (wie wenn es ermüdet würde, und nach den Gesetzen des Lebens thätig wäre) wieder nachläſst, so müſste die vorher positiv geladene innere Belegung in der Erscheinung des Rückstandes der Ladung vielmehr mit *negativer* Erregung und so die äuſsere Belegung umgekehrt mit *positiver* auftreten, wovon aber die Erfahrung abermals das Gegentheil zeigt.

---

1 Schwed. Abh. für 1762 S. 258—261.

V. Erörterung der Versuche mit der Leidner Flasche, welche zum Beweise der Franklin'schen Theorie gebraucht werden, und Gegenbeweise dagegen aus einigen bei der Entladung vorkommenden Erscheinungen.

Die Franklin'sche Theorie erklärt, wie wir oben gesehen haben, die Erscheinungen der Leidner Flasche aus einer einzigen el. Materie, indem sie auf der positiven Seite einen Ueberfluſs, auf der negativen Seite einen Mangel derselben annimmt und die Entladung als eine Ausgleichung des Mangels durch den Ueberfluſs ansieht, wodurch bei der Proportionalität derselben in Vergleichung mit dem natürlichen el. Zustande dieser selbst wieder hergestellt werde. Dieser Theorie zufolge müſste demnach die Bewegung des el. Fluidums in der Entladung eine einseitige Richtung von der + nach der — Seite haben, und die Spuren dieser Bewegung und ihrer Richtung müſsten sich analog mit den Erscheinungen, die ein auf diese Weise sich bewegendes el. Fluidum, oder überhaupt eine nach einer Seite hinwirkende mechanische Gewalt in der Erfahrung wirklich zeigt, in den Wirkungen, die von der Entladung abhängen, in der That nachweisen lassen. Einen solchen entscheidenden Beweis glauben auch die Franklinianer durch das Verhalten des Flaschenschlages aufstellen zu können, und namentlich hat Cavallo mehrere Versuche dieser Art[1] beschrieben, durch welche diese einseitige Richtung von der + nach der — Seite auſser allem Zweifel gesetzt werden soll.

a. Man hat sich vor allem auf gewisse Erscheinungen, welche Charten oder Pappblätter beim Durchbohren durch einen el. Schlag zeigen, berufen. Der Hauptversuch dieser Art soll zuerst von dem Genfer Lullin angestellt worden seyn. Man stelle eine Charte m n zwischen die beiden Spitzen des Henley'schen allgemeinen Ausladers, so daſs sie in einiger Entfernung von einander beide die Charte berühren, die Spitze a, welche beim Entladen mit dem positiven innern Belege communicirt, in b, die Spitze d, welche mit dem negativen äuſsern Belege

Fig. 59.

1 Vollst. Abh. 1ster Bd. S. 217 u. f.

verbunden ist, in c. Erfolgt nun der Entladungsschlag, so sieht man längs der Seite des positiven Drahtes a den Funken sich bis zu dem Puncte x hinschlängeln, welcher der negativen Spitze gegenübersteht, hier erfolgt die Durchbohrung, und an der negativen Spitze sieht man einen bloſsen leuchtenden Punct. Derselbe Erfolg findet auch statt, wenn die Flasche negativ geladen wird, der Funke zeigt sich auch hier nur auf derjenigen Seite der Charte, zu welcher der Draht von der positiven Seite ausgeht. Pictet[1] stellte diesen Versuch so an, daſs er beide Seiten einer Spielcharte mit einem gleichschenklichen Dreieck aus Stanniol belegte, so daſs die Grundlinien der Dreiecke an den gegenüberstehenden Rändern der Charte liegen und ihre Spitzen auf den entgegengesetzten Seiten wenigstens einen Zoll von einander abstehen. Der Funke springt dann jedesmal von der Spitze des Dreiecks, das mit dem positiven Belege in Verbindung steht, sichtlich bis dahin wo die Spitze des negativen Dreiecks gegenüber steht, und durchbohrt daselbst die Charte. Mit dieser Probecharte stellte Pictet auch noch folgenden Versuch an: Er isolirte eine Verstärkungsflasche, stellte ihren Knopf nahe an den negativen Conductor der Elektrisirmaschine, und hielt eine solche Charte, deren eine Stanniolbelegung an ihrer Basis mit einem kleinen Knopfe versehen war, an der andern Seite so in den Fingern, daſs der Knopf sich nahe an dem äuſsern Belege der Flasche befand. Bei jedem Funken der zwischen dem Conductor und dem Knopfe der Flasche erschien, zeigte sich auch ein Funken an der einen Seite der Charte, und zwar stets an der Seite, an welcher die Belegung sich befand, die mit der Hand berührt wurde. Ein Beweis, meint Pictet, daſs in diesem Falle aus dem allgemeinen Behälter, dem Erdboden, sich el. Materie in die äuſsere Belegung der Flasche ergoſs, so oft ein Funken aus dem Knopfe der Flasche in den negativen Conductor übersprang. Das Entgegengesetzte fand statt, als die Flasche positiv geladen wurde. So sehr diese Versuche dem ersten Anscheine nach dafür zu sprechen scheinen, daſs ein deutlicher el. Strom stets nur von der positiven Seite ausgehe und nach der negativen hin gerichtet sey, so hat doch Tremery[2] durch eine sinnreiche Abänderung dieser Versuche zu zeigen

---

1 G. XLIII. 218.
2 Ebend. XXIII. 426.

gesucht, dafs sich diese Erscheinungen auch mit der Annahme zweier el. Materien in Uebereinstimmung bringen lassen, wenn man nur annimmt, dafs die atmosphärische Luft für beiderlei Arten von E. ein verschiedenes Leitungsvermögen (oder Isolirungsvermögen, in welchem Sinne die nachfolgenden Bestimmungen gerade auf eine umgekehrte Weise für jede der E. genommen werden müssen) besitze, und zwar für + E ein ohne Vergleich gröfseres als für — E. Da unter dieser Voraussetzung — E unendlich mehr Widerstand als + E beim Verbreiten durch die atmosphärische Luft finden würde, so wäre es so gut, als fesselte die Oberfläche der Körper — E, und als hätten die negativ elektrisirten Körper selbst eine mächtige Anziehung zu + E, ungeachtet die Anziehung nur der in ihnen zurückgehaltenen — E zukäme. Hierdurch würden sich zugleich die Verschiedenheiten der Lichtgestalten bei Spitzen und den Lichtenberg'schen Versuchen erklären lassen.

Um diese Annahme zu prüfen, wiederholte Tremery den Versuch unter dem Recipienten der Luftpumpe, unter welchem die Luft bis zu einer gewissen Quecksilberhöhe von ungefähr 5 Zoll ausgepumpt war. Die Charte wurde in einem Puncte y durchbohrt, der ungefähr in der Mitte zwischen den beiden Spitzen lag, und zu beiden Seiten der Charte sah man Lichtstreifen. Er liefs dann allmälig die Luft wieder unter den Recipienten strömen, und wiederholte den Versuch in verschiedenen Dichtigkeiten. Für jede entstand ein Loch an einer andern Stelle, so dafs sich im Stücke yx der Charte eine ganze Reihe von Durchbohrungen, die eine nicht weit von der andern, befand. Damit die Entladung nicht durch die früher gebildeten Löcher gehe, mufs die Charte etwas in die Höhe gezogen werden. Manchmal entstehen bei einem Schlage mehrere Löcher zugleich; in diesem Falle sind aber alle Löcher so vertheilt, dafs es unmöglich seyn würde, zu sagen, an welcher Seite der positive und an welcher der negative Draht gewesen sey. Wurde der Versuch in einer Luft von noch geringerer Dichtigkeit wiederholt, so lag der Punct, wo der Schlag die Charte durchbohrt hatte, näher bei dem positiven Drahte b, als bei dem negativen c, und der gröfsere Lichtstrom zeigte sich dann an der negativen Seite.

Fig. 59.

Tremery schliefst hieraus 1. dafs das Leitungsvermögen (oder das Isolirungsvermögen in einem umgekehrten Sinne) der

atmosphärischen Luft für positive und negative E. wesentlich verschieden ist; 2. daſs unter dem gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre das Leitungsvermögen für + E ohne Vergleich viel gröſser (oder das Isolirungsvermögen ohne Vergleich viel geringer) ist als für — E. 3. daſs dieses Leitungs- oder Isolirungsvermögen jedesmal nach einem eigenen Gesetze sich mit der Dichtigkeit der Luft verändert, so daſs für eine bestimmte Dichtigkeit der Luft beide einander gleich sind, 4. daſs von diesem verschiedenen Leitungs- oder Isolirungsvermögen der Luft beim gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre alle Zeichen herrühren, welche zu beweisen scheinen, daſs die Glas-Elektricität wirklich positive d. h. Ueberschuſs, die Harzelektricität wirklich negative d. h. Mangel an E. sey. Diese Erklärung möchte vielleicht noch weitere Bestätigung und Aufklärung durch Wiederholung des nämlichen Chartenversuches in Gasarten von sehr verschiedener chemischer Natur erhalten, da vorauszusetzen ist, daſs auch unter dem gewöhnlichen Luftdrucke das Isolirungsvermögen der chemisch sehr verschiedenen Gasarten sich für die beiderlei Elektricitäten sehr verschieden verhalten möchte [1].

b. Man hat den Versuch mit den Charten noch von einer andern Seite als einen Beweis für eine einseitige Richtung der E. in ihrer Bewegung bloſs von der positiven Seite aus geltend zu machen gesucht. Gough [2] stellte den Versuch so an, daſs die Spitzen der beiden Stannioldreiecke in der Mitte des Chartenblattes einander gerade gegenüber standen. Als er eine auf der innern Seite mit + E geladene Flasche durch sie entlud, hatte das Loch der Charte an beiden Seiten erhabene Ränder. Doch waren an der Seite nach dem positiven Belege zu die Ränder minder hoch, als nach der entgegengesetzten. Dasselbe fand statt, als er die Flasche mit — E lud, und sie durch die Charte entlud. Die Durchbohrung, bemerkt Gough, glich in beiden Fällen völlig dem Loche, welches ein Pfriemen in einem dehnbaren Körper macht, denn er fand, daſs wenn er eine auf weichem Holze liegende Charte, oder eine unter einer Oeffnung angenagelte Bleiplatte mit einer solchen Spitze durchstach, das Loch ebenfalls zwei erhabene Ränder hatte, und immer war der Rand an der vordern Seite, durch welche die Spitze hin-

---

1 Vgl. *Funken, elektrischer.*

2 G. XLIII. 220.

einging, minder erhaben und zerrissen, als der Rand an der hintern Seite. Diese vollkommene Aehnlichkeit sieht Gough als einen vollgültigen Beweis an, dafs die el. Durchbohrung einem einzigen Strome, und zwar dem positiven zuzuschreiben sey. Gilbert macht hierzu die Bemerkung, dafs dieses nur dann gelten könne, wenn der von dem hineingesteckten Pfriemen an der vordern Seite aufgeworfene Rand nicht durch das Herausziehen des Pfriemens, welches einige Kraft erfordert, veranlafst wird. Pictet meint, die grofse Geschwindigkeit des el. Entladungsstromes, die augenblickliche Retardation, welche er in der Materie der Charte erleide und die Trägheit derselben Materie scheine hinlänglich, um die Erscheinung aus dem schnellen Hindurchgange eines einzigen el. Stromes zu erklären.

Indessen kommen gerade bei diesem Versuche Erscheinungen vor, die eine solche Erklärung auf keine Weise zulassen. Nimmt man mehrere Karten, durch welche man einen Entladungsschlag gehen läfst, so findet man in der mittleren Charte ein *ganz feines Loch*, wie mit einer Nadelspitze gemacht, mit nur wenig nach beiden Seiten aufgeworfenem Rande, und von da aus nach beiden Seiten die Charten mit Löchern durchbohrt, aber zugleich mit Zerreifsungen, die in dem Grade stärker sind, als die Charten mehr nach aufsen liegen, und die Ränder dieser Zerreifsungen von beiden Seiten nach aufsen gerichtet. Nach Parrot[1] soll diese Erscheinung beweisen, dafs bei der Vereinigung der beiden E. gleichsam in einem Puncte auf der mittlern Charte sich eine gewaltsame Elasticität entwickele, von welcher die beiderseits nach aufsen gerichteten Zerreifsungen herrühren. Etwas ganz ähnliches zeigt sich auch beim Durchbruche des Entladungsschlages durch das Glas der Flasche, wo, wie schon oben bemerkt, in der Mitte ein feines Loch ist, das sich nach beiden Oberflächen des Glases hin mit sich ausbreitender Zerreibung des Glases trichterförmig erweitert. Indefs läfst sich die Erscheinung eben so genügend durch eine Menge abwechselnder Ausgleichungen des + mit dem — von beiden Seiten her erklären, indem das + von dem einen Conductor her aus dem 0 der ersten Charte des — mit grofser Gewalt und in verhältnifsmäfsiger Menge anzieht, wovon die Zer-

1 Entretiens sur la Physique V. 101.

reifsung der äufsersten Charte abhängt, die nach dem + hingerichtet seyn mufs, das freigewordene — das + aus dem 0 der zweiten Charte und so fort, und eben so von der andern Seite her auch das — das + des 0 von der äufsersten Charte, das freigewordene — des 0 dieser Charte, das + des 0 der zweiten Charte u. s. f., wo allerdings die Zerreifsungen abnehmend seyn müssen, weil jedes in der Reihe folgende ± an Quantität weniger beträgt, als das ∓, durch welches dasselbe erregt und angezogen worden, weil es sonst aus seinem 0 nicht hätte frei gemacht werden können. Auf keinen Fall lassen sich diese Erscheinungen mit einem einseitigen Strome von dem positiven Conductor aus in Uebereinstimmung bringen.

Noch ein anderer Versuch über die Durchbohrung von Charten oder Papierblättern, welchen Tremery[1] angestellt hat, findet seine genügende Erklärung in der Annahme zweier el. Ströme, und ist dagegen mit derjenigen eines einseitigen el. Stromes nicht verträglich. Wenn man eine starke el. Entladung durch mehrere auf einander liegende Blätter Papier hindurch gehen läfst, so liegen die Mittelpuncte aller einzelnen Löcher meistentheils in einer geraden Linie. Wenn man dagegen, während die übrigen Umstände die ganz gleichen bleiben, einen Streifen Stanniol in die Mitte zwischen die Papierblätter legt, so findet man nach der Entladung zwar ebenfalls alle einzelnen Blätter des Papiers durchlöchert, jedoch mit dem Unterschiede, dafs die geraden Linien, die durch die Mittelpuncte der Löcher derjenigen Blätter geht, welche oberhalb des Stanniolstreifens liegen, nicht mehr die Verlängerung der geraden Linie ist, die durch die Mittelpuncte aller Löcher der untern Blätter geführt wird; beide machen vielmehr einen Winkel mit der geraden Linie zwischen der Durchbohrung in dem obersten und in dem untersten Blatte. Aus dieser relativen Neigung des obern und untern Schlufscanals folgt, dafs der Stanniolstreifen in zwei verschiedenen Puncten durchbohrt wird. Es sey K K das Heft Papier und a b der Stanniolstreifen. Durch c als die Mitte von a b ziehe man p q senkrecht auf a b, v und r sind zwei von der senkrechten p q gleich entfernte Puncte, in welchen sich die Kugeln eines allgemeinen Ausladers befinden mögen, der mit einer Batterie verbunden sey. Die eine z. B. v

Fig. 60.

1 G. XXXII. 31.

lade sich mit + E, indem sie mit der innern Belegung einer Batterie in Verbindung stehe, die positiv geladen werde; die andere Kugel r werde eben so mit — E erfüllt, indem sie mit der äufsern negativen Belegung zusammen hängt. So wie nun die + und — E im Momente der Entladung sich in die Kugeln v und r ergiefsen, streben sie, einen Theil der natürlichen E. im Streifen a b zu zersetzen. Da sich aber die Theilchen jeder einzelnen entwischten Flüssigkeit wechselseitig abstofsen, während sie die Theilchen der andern anziehen, so ist leicht einzusehen, dafs die Hälfte a c des Streifens mit negativer und die Hälfte b c mit positiver E. geladen werden mufs. Es sey ferner o der Mittelpunct der Kraft für a c und o′ für b c. Die positive E. der Kugel v wird durch zwei Kräfte sollicitirt, deren Richtungen durch die Linien v r und v o ausgedrückt sind, denn nicht blofs die negative E. der Kugel r sondern auch der mit diesem Fluidum gleichfalls erfüllte Theil a c des Stanniolstreifens ziehen dieselbe an. Eben so findet für die negative E. der Kugel r eine Anziehung nach der Richtung r v und eine zweite nach r o′ statt. Streng genommen wird aber eigentlich jede der beiden E. in v und in r von drei Kräften sollicitirt, denn in der That wirkt die positive E. der Ladung des Theils b c auch noch zurückstofsend auf die positive E. von v, so wie die negative E. des Theiles a c das gleichnamige Fluidum in r abstofsen mufs.

Es folgt hieraus, dafs man sich füglich die positive E. der Kugel v als von zwei Kräften zugleich sollicitirt denken kann, deren Richtung und Intensität durch die Linien v r und v n ausgedrückt werden, indem v n nur einen sehr geringen Winkel mit der Linie v o macht. Eben so verhält sich die Sache in Beziehung auf die negative E. in r. Wenn man nun zu v r und v n als Seitenkräften des Parallelogramm v r m n construirt und eben so auf der andern Seite das Parallelogramm r v m′ n′, so zeigt sich, dafs die positive E. von v aus sich nach der Diagonale v m, und die negative E. von r aus nach der Diagonale r m′ bewegen werden. Wenn die erste den Weg v z und die andere den Weg r z′ durchlaufen haben, gleichen sie sich in dem Metallstreifen aus. Es folgt also, dafs die über dem Stanniolstreifen a b liegenden Blätter das Papier so durchbohren werden, dafs die gerade Linie v z durch die Mittelpuncte aller Löcher geht und die Linie r z′ auf ihrer Seite durch die

Achse des Canals, den die E. durch die unter ab liegenden Blätter durchbohrt. Da nun rz' nicht in der Verlängerung von vz liegt, so muſs nothwendig der Stanniolstreifen in zwei Puncten z und z' durchbohrt werden. Die Entfernung zwischen z und z' wird gröſser oder geringer seyn, je nachdem man v und r weiter von der senkrechten pq ab oder ihr näher nimmt. Wenn v und r in der Linie pq selbst liegen, so müssen die Mittelpuncte beider Löcher in einem einzigen Puncte c zusammenflieſsen, womit auch der angestellte Versuch übereinstimmt, indem die beiden Löcher zwei Kreise bildeten, deren Peripherien sich durchschnitten. Wie dieser Erfolg mit der Theorie eines einseitigen Stromes in Uebereinstimmung zu bringen sey, ist nicht abzusehen.

c. Man hat sich ferner auf die Bewegung einer Flamme berufen, durch welche der Entladungsschlag geht. Stellt man nämlich eine Wachskerze in den hohlen Cylinder des Gestells des allgemeinen Ausladers zwischen die beiden Knöpfe der beiden Zuleitungsdrähte, die etwa zwei Zolle von einander abstehen, so wird man bei der Entladung die Flamme stets nach demjenigen Knopfe getrieben sehen, welcher mit der negativen Seite der Flasche in Berührung steht, zum Beweise, daſs der el. Strom nach dieser Seite hin seine Richtung hat. Cavallo bemerkt aber schon, daſs bei diesem Versuche die Flasche ungemein schwach geladen seyn müsse, gerade nur so viel, daſs sie eben im Stande ist, den Schlag durch den in der Verbindung leer gelassenen Zwischenraum zu treiben. Ist nämlich die Ladung zu stark, so geht die el. Materie wegen ihrer el. Kraft allzu schnell durch die Lichtflamme, als daſs sie derselben eine merkliche Bewegung mittheilen könnte. Indeſs haben spätere Versuche bewiesen, daſs gerade der umgekehrte Effect statt findet, wenn man statt der Flamme der Wachskerze die Flamme des Phosphors zwischen die zwei Kugeln des Ausladers bringt, und daſs hierbei alles von der eigenthümlichen, positiv oder negativ el. Natur der Flamme abhängt, wodurch dieser Versuch vielmehr für die Theorie zweier Materien spricht[1].

d. Einen andern Versuch stellt man mit einer Korkkugel an, welche man in ein zu einer Rinne umgebogenes recht trockenes Chartenblatt, oder in eine Rinne von wohl ausgedörrtem

1 Vergl. den Artikel: *Elektricität.*

überfirnifsten Holze auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers zwischen die beiden Knöpfe bringt, wovon jeder etwa ¼ Zoll von der Korkkugel absteht, und dann eine Entladung hindurch führt. Die Korkkugel wird in diesem Falle gegen den Knopf, der mit dem negativen Belege verbunden ist, getrieben werden. Auch bei diesem Versuche mufs die Ladung der Flasche eben nur hinreichend seyn, den Schlag durch den in der Verbindung liegenden Zwischenraum zu treiben, und überhaupt erfordert derselbe eine grofse Genauigkeit und Geschicklichkeit zum Gelingen. Da indefs bei diesem Versuche ein Zwischenraum von Luft ist, so erklärt er sich leicht auf dieselbe Weise, wie der Versuch über die Durchbohrung des Chartenblatts. In sehr verdünnter Luft würde ohne Zweifel gerade das Gegentheil eintreten, und die Korkkugel von der — nach der + Seite getrieben werden.

e. Man hat sich auch auf gewisse Lichterscheinungen berufen, namentlich eines Sterns oder Strahlenkegels an einem in eine luftleer gemachte Flasche hinein ragenden Drahte, um die einseitige Richtung der E. bei der Ladung und Entladung zu beweisen, indefs hat man dabei ganz willkürlich den Stern als ein Zeichen einströmender E. angesehen.

Aus allem bisherigen sieht man demnach deutlich, dafs die Erscheinungen bei der Entladung und die davon abhängigen Wirkungen, weit entfernt für die Hypothese einer einzigen el. Materie dadurch neue Beweise zu liefern, dafs diese Wirkungen und Erscheinungen auf eine einseitige Richtung eines einfachen el. Stromes hindeuten, und zwar eines solchen, der von der positiven nach der negativen gerichtet ist, vielmehr einen entgegengesetzten Charakter haben, und zwei el. Ströme oder Erregungen, die von beiden Seiten gleichmäfsig ausgehen, verrathen. Uebrigens verweise ich am Ende nochmals auf die Artikel: *Schlag*, *elektrischer*, wo eine nähere Betrachtung der merkwürdigsten Wirkungen des Entladungsschlages neue Beweise für die dualistische Ansicht liefern wird[1]. *P.*

---

1 Priestley's Geschichte der Elektricität durch Krünitz. Berlin u. Stettin 1772. an mehrern Orten. Beckmann's Beiträge zur Geschichte der Erfindungen 1ster Th. 4tes St. S. 571. History of the Royal Society by Thomas Thomson. London 1812. Chap. VIII., on Electricity p. 429. Die übrige Literatur findet sich im Artikel selbst.

Flaschenzug.

Polyspastus, polyspaston; Polyspaste, moufle; *Polyspaston, tackle.*

Der Flaschenzug ist eine seit den ältesten Zeiten bekannte[1] und bis auf die neuesten herab allgemein angewandte mechanische Potenz, welche bestimmt ist um gröfsere Lasten mit einer geringeren Kraft zu heben. Schon Vitruv[2] redet von diesem Werkzeuge als einem bekannten, und Leupold[3] beschreibt die wesentlichsten derselben, aus welchem Werke die meisten späteren Schriftsteller ihre Angaben entnommen haben. Eigentlich gehört derselbe in die Mechanik; weil aber fast alle Lehrbücher der Physik die Beschreibung des Flaschenzuges bisher aufgenommen haben, so möge auch hier das Wichtigste über diesen Gegenstand kurz mitgetheilt werden.

Es lassen sich zweierlei Arten von Flaschenzügen unterscheiden, die gemeinen und die Potenzflaschenzüge, beide aber gehen von der *Rolle* als ihrem Elemente aus, deren eine beliebige Anzahl, auf allen Fall mehr als eine, wenn eine mechanische Potenz hervorgehen soll, in die aus hölzernen oder metallenen Scheiben bestehenden Flaschen vereinigt werden. Die gewöhnliche Construction der gemeinen Flaschenzüge ist so, dafs 2 oder 3 bis höchstens 4 Rollen in jeder Flasche in derselben Ebene über einander verbunden sind, und die Durchschnitte der sämmtlichen Seile und der Rollen, letztere perpendiculär auf ihre Axen, in eine gemeinschaftliche Ebene fallen. Um hierbei den parallelen Seilen neben einander Raum zu verschaffen, sind die einander näher liegenden Rollen der beiden Flaschen kleiner, die entfernteren gröfser. Wenn die Flaschenzüge zum praktischen Gebrauche etwas gröfser und für dickere Seile geeignet gemacht werden, so darf die Vergröfserung der Rollen nicht ganz unbeträchtlich seyn, und dennoch werden die beiden, sich zunächst liegenden, nicht bedeutend grofs werden, wenn die Zahl der Rollen in jeder Flasche drei oder

Fig. 61.

---

1 Als Erfinder desselben wird Archimedes genannt. S. Nachricht von dem Leben und den Erfindungen der berühmtesten Mathematiker. München 1788. I. 22.

2 De Archit. Lib. X. c. 3 f. p. 231. ed. Rode.

3 Theatrum mach. gen. Cap. III. Tab. XXXV. und XXXVI.

vier beträgt, und wenn gleich der mechanische Effect der Flaschenzüge mit der Zahl der Rollen zunimmt, so beträgt dieselbe bei den gewöhnlichen namentlich im Bauwesen häufig gebrauchten Flaschenzügen dieser Art meistens nur zwei in jeder Flasche, und die erforderliche Kraft wird verstärkt, indem man an das Ziehseil des Flaschenzuges ein oder mehrere Pferde spannt, oder dasselbe vermittelst eines Cabestan's aufwindet. Es kommt noch hinzu, dafs ein Flaschenzug jederzeit ein so viel längeres Seil erfordert, je gröfser die Anzahl der Rollen ist, wodurch er kostbarer wird und bei gleicher Geschwindigkeit des Zuges am Seile die Lasten langsamer hebt, abgerechnet, dafs die Säule durch den Einflufs der atmosphärischen Feuchtigkeit aufgedrehet werden, und sich am unbelastet hängenden Flaschenzuge nicht selten so in einander wirren, dafs sie nur mit vieler Mühe aus einander gebracht werden können, insbesondere wenn sie zahlreich und die nächsten Rollen klein von Durchmesser sind. Endlich ist bei einer gröfseren Zahl von Rollen die Länge beider Flaschen zusammen genommen und die beträchtlichere Höhe, wo diesemnach die obere Flasche befestigt werden mufs, nicht ganz unbedeutend. Die Zeichnung stellt den in der Mitte liegenden Flaschenzug mit drei Rollen in jeder Flasche dar, wonach man sich den mit zwei und den mit vier Rollen in jeder Flasche leicht vorstellen kann. Dieser letztere wird nicht häufig gebraucht, und der mit einer Rolle in jeder Flasche kommt überall kaum in Anwendung. Ferner findet sich der Regel angemessen das Seil anfänglich an der oberen Flasche befestigt; wird dasselbe dieser Regel zuwider an die untere Flasche gebunden, so erhält die obere eine Rolle mehr als diese letztere, die Last aber wird allezeit durch so viele Seile getragen, als die Anzahl der Rollen in beiden Flaschen beträgt.

Die angegebene Unbequemlichkeit der eben beschriebenen Flaschenzüge, nämlich dafs die Rollen beträchtlich ungleich an Gröfse seyn müssen, wenn man deren drei oder vier in jeder Flasche anbringen will und die Seile sich nicht an einander reiben sollen, führte auf den Vorschlag, sie sämmtlich von gleicher Gröfse zu machen, und in horizontaler Lage neben einander zu legen. Diese übrigens sinnreiche Einrichtung hat zwei Mängel, zuerst nämlich wirkt der Zug am Seile zunächst direct auf die eine Rolle an der einen Seite jeder Flasche, und

Fig. 62.

bis derselbe sich durch alle Seile fortpflanzt, kommen die Flaschen in eine schiefe Richtung, welches die Wirksamkeit des Apparates hindert, und zweitens sind alle Rollen auf einer einzigen Axe befestigt, welche daher entweder sehr stark seyn muſs oder sich in der Mitte leicht biegt. Dem letzteren Mangel wird leicht abgeholfen, wenn man die beiden Backen der Flaschen oben und unten mit einem hinlänglich starken Querstücke verbindet, und jede Rolle von der andern durch ein hiergegen gestütztes Blech von der erforderlichen Dicke trennt; der erstere aber verhindert, daſs man nicht füglich mehr als zwei bis höchstens drei Rollen in einer Flasche anbringen kann, insbesondere wenn sie wegen der starken Taue bei groſsen Lasten, wie z. B. auf Schiffen, nicht schmal seyn dürfen. Ungleich vorzüglicher sind daher zwei andere von dem bekannten J. Smeaton[1] angegebene Einrichtungen, worin er die beiden so eben erwähnten Arten zu vereinigen suchte. Die eine verstattet die Zahl der Rollen beliebig zu vervielfältigen, und hat den Vortheil, daſs beide Enden des Seiles in die Mitte der Flaschen treffen, wenn die Zahl der neben einander liegenden Rollen eine ungerade ist, wie sich dieses gehört. In jeder der beiden Flaschen befinden sich dann zwei Reihen von Rollen, von denen die einander zunächst stehenden kleiner sind, als die von einander entfernteren. Indem übrigens die Zeichnung die Sache vollkommen deutlich macht, so würde jede weitere Beschreibung überflüssig seyn, und verdient bloſs noch bemerkt zu werden, daſs die eingeschriebenen Zahlen diejenigen Rollen bezeichnen, über welche in der angegebenen Reihenfolge das Seil gezogen wird, indem es bei der Rolle unter 1 anfängt und am Haken 21 endigt. Die zweite Einrichtung dieser Art von Flaschenzügen unterscheidet sich nur durch die Abänderung, daſs die Axen der beiden Reihen von Rollen in jeder Flasche sich in zwei rechten Winkeln schneiden. Es ist dann nicht erforderlich, daſs die Rollen von ungleicher Gröſse sind, jedoch werden die einander zunächst gegenüberstehenden meistens etwas kleiner gemacht. Eine Vorstellung von dieser Einrichtung erhält man leicht, wenn man sich denkt, daſs in der Figur die beiden Backen, welche die einander zunächst liegenden kleineren Rollen einschlieſsen, rechts um einen Quadranten

Fig. 63.

1 Ph. Tr. XLVII. 494.

herumgedrehet werden, indem dann das Seil in der angezeigten Ordnung so durchgezogen wird, wie die Reihenfolge der Zahlen angiebt, jedoch so, dafs es über die Rolle bei 6 hineingesteckt und durchgezogen über die andere Rolle so geschlungen werden mufs, dafs es bei der Zahl 7 wieder herauskommt u. s. w.

Eine individuelle Species dieser Art verdient noch eine besondere Erwähnung, weil sie sehr gut im kleinen Umfange ausgeführt werden kann, und dann Eleganz mit Wirksamkeit und Bequemlichkeit verbindet, zugleich aber zur Demonstration vorzüglich brauchbar und namentlich für Chirurgen zum Einrichten verrenkter Glieder mit Nutzen anwendbar ist. So wie ich diesen Flaschenzug aus einem in England verfertigten und ausnehmend schön von Silber und Stahl gearbeiteten Exemplare bei einem französischen Arzte kennen lernte, und seitdem wiederholt aus Stahl und Messing nachbilden liefs, besteht derselbe aus zwei Flaschen, nur etwa 3 Z. lang, die untere mit 4 Rollen, je zwei mit rechtwinklich über einander liegenden Axen, die beiden nach oben gekehrten Rollen 1 Z. die beiden untern 1,25 Z. im Durchmesser haltend; die obere Flasche dagegen hat 5 Rollen, deren Gröfse den eben angegebenen correspondirt, so dafs die beiden unteren die kleineren, die drei oberen die gröfseren sind. Einige Schwierigkeiten hat das Einziehen des Seiles, wenn man den Apparat nicht genauer kennt; es geschieht, indem man das Ende des Seiles über der oberen Rolle bei 1 einsteckt, dann unter der oberen Rolle der unteren Flasche wieder herauskommen läfst und auf gleiche Weise nach der Reihenfolge der Zahlen fortfährt, wonach das letzte Ende bei 9 wieder herauskommt, und mit dem bei 1 hervorstehenden anderen Ende durch einen Knoten vereinigt wird. Hiernach ist das Seil an keiner der Flaschen ursprünglich festgeknüpft, und der Flaschenzug gewährt die Eigenthümlichkeit, dafs die bewegende Kraft an jedes der beiden Seil-Enden bei 1 oder bei 9 angebracht werden kann, oder an beide zusammen, und da hiernach entweder ein oder zwei der acht Seile in Bewegung gesetzt werden, woran die Last hängt, so ist im ersten Falle $\frac{1}{8}$, im zweiten $\frac{1}{4}$ als bewegende Kraft erforderlich, um das Gleichgewicht herzustellen, wie die Erfahrung mit der Theorie vollkommen übereinstimmend zeigt. Bei so kleinen, vorzüglich gut gearbeiteten, Exemplaren beträgt die Dicke der Backen bei den Flaschen etwa

Fig. 64.

1 Lin., der Rolle nahe 1,25 Lin., und wenn dann zum Seile eine gute seidene Schnur gewählt wird, und die stählernen Haken hinlänglich stark sind, so kann eine Last von nahe 200 ℔ oder 400 ℔ mit diesem kleinen Flaschenzuge gehoben werden, vorausgesetzt, daſs das einfache Seil 50 ℔ trägt, und man im ersten Falle an beiden, in letzterem an einem Seile zieht, die Reibung vorläufig nicht gerechnet.

Der Flaschenzug, auf dessen Erfindung sich J. White ein Patent geben lieſs, war zunächst darauf berechnet, die Reibung zu vermindern, welche die einzelnen Rollen an den berührenden Blechen der Kloben erleiden, wenn deren mehrere parallel neben einander liegen. Er substitutirte daher statt einer beliebigen Anzahl solcher einzeln beweglichen Rollen einen Kegel mit eingeschnittenen Rinnen, befestigte diesen statt der Flasche in einen Bügel, und zwei der letztern von gleicher Beschaffenheit ersetzten dann den vollständigen Flaschenzug. Aus der Zeichnung ist ersichtlich, daſs das erste Ende des Seiles an dem einen Ende des obern Bügels befestigt wird, dann um die schmalste Rinne des unteren Kegels läuft, und von hier abwechselnd um die gröſseren des oberen und unteren Kegels, bis das letzte Ende desselben die äuſserste dickste Seite des Kegels umschlingt. Um die hierbei zum Grunde liegende Theorie zu verstehen, darf man sich nur vorstellen, daſs jede einzelne Rinne der Kegel eine für sich bewegliche Rolle von abnehmenden Durchmesser bilde. Würde dann das letzte Ende des Seiles mit der erforderlichen Kraft herabgezogen, so werden alle Seile zwischen der gesammten Zahl der Rollen verkürzt, alle Verkürzungen der gesammten Seile laufen aber über die letzte Rolle, über die nächstfolgende läuft eine weniger, über die dann zunächstfolgende wieder eine weniger und so fort, bis ans entgegengesetzte Ende der kegelförmig aneinander gereiheten Rollen. Wenn nun die Peripherien, und somit auch die Durchmesser der einzelnen Rollen im gleichen Verhältnisse abnehmen, als die über sie laufenden Seillängen, so wird die Zahl ihrer Umläufe gleich seyn, und man darf sie also an einander fest machen, oder statt ihrer einen Kegel mit Rinnen substituiren. Man darf also nur den Kegel von beliebiger Höhe in so viel gleich hohe Theile abtheilen, als er einzelne Rollen ersetzen soll, ihn bei jeder Abtheilung cylindrisch abdrehen, und in alle diese cylindrische Theile Vertiefungen von

Fig. 65.

gleicher Tiefe einschneiden, zwei solche ganz gleiche Systeme von wachsenden Cylindern mit ihren Axen in den Bügeln befestigen, und das Seil auf die angegebene Weise über die entstandenen Vertiefungen schlingen, so ist der Flaschenzug hergestellt. Obgleich diese Idee im Ganzen sinnreich ist, und die hinzukommende, als gleichmässig vorausgesetzte, Dicke des Seiles das Princip nicht abändert, so erfordert dieser Flaschenzug doch eine genaue Fabrication, ein ganz gleichmäſsiges Ausschleifen der Rinnen, und weil auſserdem die bewegende Kraft auf die eine Seite desselben wirkt, er daher leicht schief gezogen wird, die Seile sich auſserdem da, wo die Durchmesser der Vertiefungen kleiner sind, leicht verwirren, und endlich durch einen schiefen Zug und eine momentane Lockerheit wohl gar in eine nächstniedrigere Vertiefung herabgleiten können: so ist er nicht sehr in Gebrauch gekommen. Noch weniger ist dieses der Fall bei einer Verbesserung, welche Shuldham [1] in Vorschlag brachte. Dieser befestigte nämlich in jedem Bügel zwei mit ihrer Basis verbundene Kegel, welche nach beiden Seiten auf gleiche Weise abnehmende Vertiefungen hatten, befestigte die beiden Enden des Seiles an den beiden unteren Theilen des oberen Bügels, führte dasselbe dann über die gleichmäſsig zunehmenden Vertiefungen der Kegel zuerst im unteren und dann im oberen Bügel, so daſs die vereinte Mitte zusammen in zwei Strängen über die beiden Vertiefungen an der gemeinschaftlichen Basis beider oberen Kegel herabgezogen wurde. Daſs hierdurch die mechanische Wirkung des Flaschenzuges nicht vermehrt wird, obgleich er ein Seil von doppelter Länge erfordert, ist aus dem oben gesagten klar, weil an zwei Seilenden zugleich gezogen wird, jedoch erfordert das Seil zum Tragen einer gleichen Last nur die Hälfte der Stärke, und zugleich wird das Schiefziehen vermieden. Uebrigens theilt er die von jenem angegebenen Mängel.

Um die Reibung aufzuheben, that Garnett [2] den Vorschlag, und lieſs sich ein Patent darüber geben, die Spindeln der Rollen nicht in Löchern laufen zu lassen, sondern in einem Kreise von Frictions-Rollen, welche er in die doppelt gemach-

---

1 Transact of the Soc. for the Encouragement of Arts Manufact. etc. XXIV. 189.

2 T. Cavallo ausführliches Handbuch der Experimental-Naturlehre. A. d. F. von Trommsdorf. Erf. 1804. 8. I. 272.

ten Backenstücke der Flaschen einsenkte. Dafs die Flaschenzüge schon deswegen eine verhältnifsmäfsig nicht geringe Reibung haben, weil die Durchmesser der Rollenaxen der nöthigen Stärke wegen nicht eben klein seyn dürfen, ist allerdings richtig, und eben so wenig wird jemand in Abrede stellen, dafs Frictions-Rollen ein sehr geeignetes Mittel sind, dem aus der Reibung entstehenden Hindernisse der Bewegung im Allgemeinen abzuhelfen, allein bei einem Flaschenzuge werden sie entweder zu klein seyn müssen, oder das ganze Werkzeug wird sehr zusammengesetzt und zu unförmlich dick ausfallen. Ich trete daher unbedingt der Meinung derjenigen Schriftsteller bei, welche die Anwendbarkeit der Frictions-Rollen bei Flaschenzügen für unzulässig halten.

Die zweite Art von Flaschenzügen sind die Potenz-Flaschenzüge, deren Benennung aus der später zu erörternden Art ihres mechanischen Effectes entnommen ist. Als wesentlicher Unterschied beider Arten von Flaschenzügen ist anzusehen, dafs bei der gemeinen die obere Flasche unbeweglich, die untere dagegen beweglich ist, und dafs das Seil an einer der Flaschen oder blofs durch Umschlingen um die Rollen festsitzt; bei den Potenzflaschenzügen dagegen nur eine, in der Regel die letzte Rolle unbeweglich ist, während meistens die sämmtlichen einzelnen Seile mit ihrem einen Ende an einen unbeweglichen Körper festgeknüpft werden. Einen Uebergang zwischen beiden Arten bildet die doppelte Rolle, deren Construction und Wirkungsweise aus der Figur ersichtlich ist, und welche in geeigneten Fällen leicht und mit Vortheil in Anwendung gebracht werden kann. Eben so leicht wird die Beschaffenheit der Potenzflaschenzüge aus der blofsen Zeichnung erkannt. Es laufen hier die einzelnen Seile, in einer gemeinschaftlichen verticalen Ebene liegend, mit einander parallel herab, und jedes ist an einem besonderen Halter mit dem einen Ende befestigt, während der andere durch den Bügel der nächsten Rolle getragen wird. Dafs dieses nicht alles durchaus nothwendig sey, ergiebt sich von selbst; indem namentlich auf Schiffen, wo diefe Art Flaschenzüge zum Heben grofser Lasten auf eine geringe Höhe am meisten gebraucht werden, oft die Möglichkeit nicht vorhanden ist, jedes einzelne Seil auf die angegebene Weise zu befestigen. Nicht selten werden sie dann sämmtlich in einem gemeinschaftlichen Puncte vereinigt festgemacht, so dafs selbst

Fig. 66.

Fig. 67.

die letzte Rolle, über welche das Endseil geht, ebendaselbst befestigt ist. Wie ein solcher dann aussehe, kann man sich auch ohne Zeichnung leicht vorstellen.

Als eine Art umgekehrten Potenzflaschenzuges ist derjenige anzusehen, bei welchem die letzte Rolle, über welche das Ende des ersten Seiles herabgeht, beweglich, das andere Ende des Seiles aber festgemacht ist. Nach dieser letzten Einrichtung gehört er unter die Classe der Potenzflaschenzüge, insofern aber, als die obere Rolle fest, die untere mit der zu hebenden Last dagegen beweglich ist, gehört er zu den gemeinen Flaschenzügen, mit denen er auch rücksichtlich seiner Wirkung übereinkommt. Indem er aber die Lasten nur zur Hälfte der Höhe hebt, als bei den letztern der Fall ist, so kann er wegen dieser beschränkteren Brauchbarkeit nicht empfohlen werden. Eben diesem Fehler unterliegt die folgende Abänderung, welche rücksichtlich der Festigkeit der oberen Rolle, der Beweglichkeit der unteren und in so fern die Seile mit keinem Ende aufser an den Flaschen der Rollen selbst befestigt sind, mehr den gemeinen beizuzählen ist, zugleich aber einen gröfsern Effect hat, als die letzteren. Wegen des gerügten Fehlers der geringeren Höhe, wozu die Lasten vermittelst desselben gehoben werden können, verdient auch dieser keinen Beifall. Dem eigentlichen Potenzflaschenzuge wesentlich zugehörend und an mechanischem Effecte ihn noch übertreffend ist der weniger bekannte, bei welchem die Last an den vereinten Enden aller Seile befestigt und blofs die Flasche der oberen Rolle unbeweglich gemacht wird. Da er nach der Zahl der Rollen die gröfste Last hebt, so verdient er vorzügliche Empfehlung, und selbst darin liegt kein wesentliches Hindernifs seiner Anwendbarheit, dafs die vereinten Seilenden sich leicht zusammendrehen werden, denn da sie gemeinschaftlich in die Höhe steigen, so bringt dieses dem mechanischen Effecte keinen Nachtheil, und die einzige daraus erwachsende Unannehmlichkeit ist nur diese, dafs die aufgewundenen Lasten sich gern um eine verticale Axe zu drehen pflegen, welches aber ohne bedeutende Schwierigkeiten leicht verhindert werden kann.

Fig. 68.

Fig. 69.

Fig. 70.

Die *Theorie* der Flaschenzüge oder die Bestimmung ihres Effectes bei gegebener Kraft ist sowohl bei den gemeinen als den Potenzflaschenzügen sehr einfach und unter den Mechanikern durchaus nicht streitig. Wenn man von der Steifheit der

Seile und der Reibung abstrahirt, wie bei den mechanischen Untersuchungen vorläufig bei der Bestimmung der allgemeinen Gesetze allezeit geschieht, so ist bei den gemeinen Flaschenzügen die Last unter die gesammten Seile gleichmäfsig vertheilt. Die auf das Ende des Seiles wirkende Kraft spannt nur eines der gesammten Seile, woran die Last hängt, und beträgt also nur denjenigen aliquoten Theil der letzteren, welcher auf dieses eine Seil kommt. Heifst also die mit Inbegriff der untern Flasche zu hebende Last P, die sie hebende Kraft K, die Zahl der Seile n, so wird das statische Moment zwischen Last und Kraft hergestellt, oder beide werden im Gleichgewichte seyn, wenn $K = \frac{P}{n}$ ist, d. h. man findet die Kraft, welche erforderlich ist, eine an dem Flaschenzuge hängende Last im Zustande der Ruhe zu erhalten, wenn man an das Ende des Seiles ein Gewicht hängt, welches der Last dividirt durch die Anzahl der Seile gleich ist. Die hiernach einem jeder der gezeichneten Flaschenzüge zugehörigen, ein Gleichgewicht erzeugenden Lasten sind der bequemen Uebersicht wegen in den Zeichnungen mit angegeben. Sucht man aber diejenige Kraft, welche erforderlich ist, eine gegebene Last wirklich in die Höhe zu heben, ohne dabei die Geschwindigkeit zu berücksichtigen, womit dieses geschehen soll, so mufs der Kraft noch ein solcher aliquoter Theil hinzugefügt werden, als erfordert wird, um die Reibung und Steifheit der Seile zu überwinden, welche Gröfsen sich aber nicht im Allgemeinen angeben lassen. [1] Die Summe dieser beiden Hindernisse der Bewegung sey $= pK$, so ist allgemein die eine Bewegung hervorbringende Lraft $K' = K(1 + p)$.

Nicht schwieriger ist es, die Theorie des Potenzflaschenzuges aufzufinden. Schon der blofse Augenschein nämlich zeigt, dafs die mit der zu hebenden Last verbundene unterste Rolle an beiden Theilen des sie umschlingenden Seiles hängt, und auf beide gleichmäfsig vertheilt ist. Die nächstfolgende Rolle, woran das eine Ende des Seiles geknüpft ist, zieht also nur dieses in die Höhe, während das andere Ende als unbeweglich fest betrachtet wird, mithin erfordert sie für den Zustand des Gleichgewichtes nur die Hälfte derjenigen Last, welche die erste Rolle herabzieht, als Kraft, und da dieses für alle folgenden

1 S. *Reibung und Steifheit der Seile.*

Rollen auf gleiche Weise gilt, mit Ausnahme der letzten, über welche das Seil zum Herabziehen geschlungen ist, so wird, wenn die Menge der beweglichen Rollen $= n$ heifst, im übrigen aber die vorigen Bezeichnungen beibehalten werden, $K = P\left(\frac{1}{2}\right)^n$ seyn. Dafs auch hierbei, wie bei den sogleich zu betrachtenden, besonders construirten Flaschenzügen, blofs vom Zustande des Gleichgewichts die Rede sey, zur Erzeugung einer Bewegung aber die oben angegebenen Hindernisse gleichfalls überwunden werden müssen, bedarf nur im Allgemeinen einer Erwähnung.

Von den drei zuletzt beschriebenen Flaschenzügen kann das Verhältnifs zwischen der Last und Kraft bei dem ersten leicht gefunden werden. Die Rolle mit der Last nämlich hängt vorläufig angenommen an den beiden Enden des unter ihn hingeführten Seiles, und es wird daher an dem über die letzte Rolle geschlungenen Seile nur die Hälfte des Gewichts erforderlich seyn, um das Gleichgewicht herzustellen. Weil aber die gesammte Kraft, womit diese Rolle herabgezogen wird, auf das eine Ende eines zweiten, um die obere Rolle geschlungenen und gleichfalls an der Last befestigten Seiles wirkt, so ist der Effect der herabziehenden Kraft hiernach abermals ein doppelter, so dafs im Ganzen die Kraft nur ein Viertheil der Last seyn mufs. Der zweite, etwas abgeänderte, Flaschenzug läfst sich auf folgende Weise erklären. Die untere mit der Last beschwerte Rolle werde vorläufig durch das an ihr befestigte, über die oberste Rolle geschlungene Seil allein getragen, so mufs die am andern Ende befindliche Rolle die Last durch ein der Last gleiches Gewicht im Zustande der Ruhe erhalten werden. Die Last hängt aber zugleich auch an den beiden um die untere Rolle geschlungenen Seilenden, von denen das eine über die dritte Rolle gezogen ist. Wird also das eine herabgehende Ende dieses Seiles durch eine gegebene Kraft herabgezogen, so wird die Wirkung derselben verdoppelt, indem sie nur das eine der beiden Seile verkürzt, woran die Last hängt. Insofern aber durch diese Kraft die dritte Rolle durch beide Seilenden herabgezogen wird, wirkt dieselbe doppelt, und die hierdurch gegebene Wirkung wird abermals verdoppelt dadurch, dafs die Last selbst diese dritte Rolle herabzieht, während die ursprüngliche Kraft zugleich einfach auf das über die obere Rolle geschlungene Seil

Fig. 68.

Fig. 69.

wirkt. Im Ganzen verhält sich also die Last zur Kraft wie $2\times2+1:1=5:1$. Am wirksamsten unter allen Flaschen- Fig. 70. zügen ist der letzte, ein eigentlicher Potenzflaschenzug, bei welchem die Zahl der Rollen noch obendrein willkürlich vermehrt werden kann. Um seine Wirkungsweise zu versinnlichen denke man sich die oberste Rolle als unbeweglich und blofs zur Aenderung derjenigen Richtung bestimmt, in welcher die bewegende Kraft ihre Wirkung äufsert, wie dieses bei der einfachen Rolle der Fall ist. Die auf die unterste bewegliche Rolle wirkende Kraft äufsert sich auf beide Seilenden derselben, und ist also in Beziehung auf den Effect, womit diese Rolle das sie tragende Seil herabzieht, doppelt, wozu noch die einfache Wirkung auf das an die Last geknüpfte Seil kommt, mithin wird sie im Ganzen dreifach; die hierdurch erzeugte Gesammtkraft wird durch die folgende Rolle abermals verdoppelt und um 1 vermehrt, ist also $=7$, durch eine dritte bewegliche findet das Nämliche statt, und sie wird also $=15$. Heifst demnach die Zahl der beweglichen Rollen n, so verhält sich die Last zu der das Gleichgewicht erzeugenden Kraft $=2^{n+1}-1:1$.

Der in der Mechanik überall anwendbare, seit Cartesius allgemein bekannte Hauptgrundsatz, dafs bei bewegenden Kräften, namentlich beim Hebel und dessen zahlreichen Anwendungen, die von denselben durchlaufenen Räume und somit auch die Geschwindigkeiten zu den von den Lasten durchlaufenen Räume und folglich auch deren Geschwindigkeiten in einem umgekehrten Verhältnisse stehen, findet auch bei den Flaschenzügen Anwendung. Hiernach wird also derjenige Weg, welcher das letzte Ende des Seiles, oder das hieran als bewegende Kraft geknüpfte Gewicht, zurückzulegen hat, sich zu dem von der bewegten Last durchlaufenen verhalten wie die Gröfse der bewegten Last zu der Gröfse dieses bewegenden Gewichtes. Bei den gemeinen Flaschenzügen findet man also diesen, vom bewegenden Gewichte durchlaufenen Raum oder seine Geschwindigkeit, wenn man diese der bewegten Last zugehörigen Gröfsen mit der Zahl der Seile multiplicirt, worauf die Last vertheilt ist. Dafs dieses wirklich der Fall sey, folgt schon einfach daraus, wenn man berücksichtigt, dafs die Verkürzungen der gesammten Seile beim Heben der Lasten über die letzte Rolle laufen, und daher der Zahl dieser Seile proportional seyn müssen. Bei dem oben angegebenen zweiten *Smeaton'schen* Flaschen-

zuge läfst sich dieses Theorem sehr gut daraus erläutern, wenn man zeigt, dafs entweder die beiden Enden der Seile jedes mit einem gleich langen Theile über beide obere Rollen laufen, oder dafs nach Festknüpfung des einen Endes die ganze Verkürzung über die eine dieser Rollen läuft, wonach also im letzteren Falle, die Geschwindigkeit dieses Seiles doppelt so grofs, die zum Heben der Last erforderliche Kraft aber nur halb so grofs ist. Auf gleiche Weise kommt dieses Gesetz bei den Potenzflaschenzügen in Anwendung, und es mufs daher bei der ersten beweglichen Rolle die Verkürzung beider Seilenden durch die zweite bewegliche Rolle gehoben werden, mithin der von dieser durchlaufene Weg der doppelte derjenigen Höhe seyn, zu welcher die Last gehoben wird, und da dieses nämliche von der zweiten beweglichen Rolle in Beziehung auf die erste gilt, so wächst der von dem bewegenden Gewichte durchlaufene Raum nach den Potenzen der beweglichen Rollen. Indem dieser Grundsatz also als allgemein gültig anzusehen ist, so kann man umgekehrt die Wirksamkeit eines Flaschenzuges aus dem Verhältnifs der Räume nachweisen, welche von den bewegenden Gewichten und den gehobenen Lasten durchlaufen werden, wie dieses unter andern durch Leslie[1] bei dem zuletzt beschriebenen wirksamsten Flaschenzuge geschehen ist. Denken wir uns demnach die oberste bewegliche Rolle zuerst für sich, so wird das um sie geschlungene herabgehende Seilende zuerst um so viel herabgehen müssen, als die Last steigt; weil aber zugleich die Rolle selbst um einen gleichen Theil des Raumes herabsinkt, so wird der durchlaufene Raum hiernach verdoppelt, und weil zugleich die Rolle hierdurch der Last um einen gleichen Theil genähert wird, so mufs die Summe der durchlaufenen Räume ein dreifacher desjenigen seyn, um welchen die Last gehoben ist. Eben diese Demonstration gilt von der zweiten beweglichen Rolle, wenn man die erste bewegliche als ruhend betrachtet, mithin ist der von dem über diese herabhängenden Seil-Ende durchlaufene Raum der dreifache desjenigen, um welchen die Last gehoben wurde, und wenn jene erste als beweglich betrachtet wird, ein sechsfacher, wozu die erste Hebung der Last mit 1 hinzukommt, folglich im Ganzen ein siebenfacher u. s. w. Es folgt hieraus, dafs man bei den ge-

Fig. 70.

1 Elements of Nat. Philos. I. 178.

meinen Flaschenzügen zwar durch Vermehrung der Rollen und Seile an Kraftaufwande gewinnt, eben so viel aber an der Geschwindigkeit verliert, womit die Last gehoben wird. Hiernach läfst sich dann auch die gesammte Länge des Seiles berechnen, welche erforderlich ist, um eine Last vermittelst eines Flaschenzuges von gegebener Zahl Rollen auf eine bestimmte Höhe zu heben. Heifst diese Höhe h, die Zahl der Seile, woran die Last hängt n, der Abstand der Axen des ersten Rollenpaares dann, wenn die Enden der Flaschen sich berühren, a, des zweiten a′ u. s. w. der Umfang der ersten Rolle p, der zweiten p′ u. s. w. und geht endlich das Seil, woran gezogen wird, von der obersten Rolle wieder auf den Boden herab, so ist die ganze Seiles-Länge

$$=2\left(a+a'+a''+\ldots+a^{\frac{n}{2}}\right)+\left(p+p'+p''+\ldots+p^{\frac{n}{2}}\right)+h\,(n+1).$$

Bei den gewöhnlichen Potenzflaschenzügen hört das Emporheben der Last auf, wenn die erste bewegliche Rolle sich der obersten unbeweglichen genähert hat, bei dem zuletzt beschriebenen, wenn dieselbe mit der die Last unmittelbar tragenden in Berührung gekommen ist. Der Gebrauch der Potenzflaschenzüge, so grofse Lasten auch mit verhältnifsmäfsig geringer Kraft durch dieselben gehoben werden können, ist daher in sofern sehr beschränkt, als sie nicht gestatten, die Lasten zu einer beträchtlichen Höhe zu fördern. *M.*

Fliegen.

Das **Fliegen**, der **Flug**; *Volare;* Voler; *to fly* bezeichnet den unterscheidenden Vorzug der Vögel, durch Schlagen der Luft mit den Flügeln sich in derselben schwebend zu erhalten und fortzubewegen. Es ist dieses eine von den vielen Erscheinungen, die täglich vor unsern Augen vor sich gehen, deren vollständige Erklärung jedoch eine der schwierigsten Aufgaben der mechanischen Physik ausmacht.

Der Erste, welcher sich mit dem Fluge der Vögel auf eine gründliche Weise beschäftigte, ist der neapolitanische Professor Borelli in seinem an scharfsinnigen und neuen Untersuchungen so reichen Werk *de motu animalium*. Was Nieuwentyt in seiner Weltbeschauung über diesen Gegenstand vorbringt, ist nur von Borelli entlehnt, und zwar nicht zur Erklärung der Erscheinungen, sondern nur in so weit es zu seinem Zwecke,

die Weisheit des Schöpfers in seinen Anordnungen ins Licht zu setzen, tauglich seyn mochte. BORELLI[1] geht von der anatomischen Untersuchung der Flügelknochen und ihrer Befestigung aus. Er macht auf die Verschiedenheit in der Structur des Schulterblattes aufmerksam, das bei den gehenden Thieren einfach ist, bei den fliegenden hingegen, aus zwei unter einem etwas spitzen Winkel vereinigten Stücken besteht, von denen das eine durch mehrere Muskeln an den Rippen des Rückgrates festsitzt, das andere durch feste Bänder mit dem Brustbein zusammen hängt. Der Scheitel dieses Winkelstückes trägt die Pfanne, in welcher der Oberarm des Flügels sich bewegt; auf diesen folgt der Doppelknochen des Ellbogens und das Handgelenke. Die Länge dieses Flügelknochens ist je nach der Bestimmung des Vogels verschieden; bei den Fliegern, wie Adlern, Schwänen, Schwalben, beträchtlich; (oft länger als der ganze Körper) geringer bei der Henne, am unbedeutendsten beim Strauſse. Er weist ferner auf den zarten Röhrenbau der Knochen des Vogels hin als Beförderungsmittel der Leichtigkeit und Festigkeit, und erörtert die merkwürdige Structur der Federn zur Durchschneidung und Aufhaltung der Luft. Sodann zeigt er die Möglichkeit des Fliegens aus der Elasticität der durch den Flügelschlag comprimirten Luft, die wie ein fester Boden widerstrebe, und erklärt den Flug für eine zusammengesetzte Bewegung, „*aus schnell wiederholten Sätzen durch die Luft*". Die Brustmuskeln, die beim Menschen nur etwa den sechzigsten Theil der übrigen Muskeln ausmachen, klein und wenig fleischig sind, betragen beim Vogel an Ausdehnung, Kraft und Gewicht mehr als alle übrigen zusammen. Selbst das Brustbein, das bei jenen ganz flach ist, ist bei diesem mit einer winkelrecht aufgesetzten Wand versehen, und macht die Lagerstätte[2] der gröſsten und kräftigsten Muskeln aus. Diese

---

1 Joh. Alph. Borelli Neapolitani Matheseos Professoris de Motu animalium cet. Von diesem classischen Werke sind 7 Ausgaben vorhanden; die erste Romae 1680 und 81; die zweite Lugd. Bat. 1685; die dritte Genevae 1685; die vierte Bononiae 1699; die fünfte Lugd. Bat. 1710; die sechste Neapoli 1734; die siebente Hagae Com. 1741; sämmtlich in 4to. Ob noch spätere existiren, ist mir unbekannt. S. Zeitsch. für Astronomie. III. 390. Die Abh. über das Fliegen findet sich auch in Le Clerc und Manget Biblioth. Anat. 1685. Fol. II. 816 und 890.

2 Die besten Flieger haben auch in der Regel die höchste und

sind am Gelenke des Oberarms selbst befestigt, und stehen also nur etwa um ein Sechstel seiner Länge vom Centrum des Hebels ab, während dem sie beim Menschen an der Röhre desselben angeheftet sind: dadurch wird eine allzu starke Ausspannung dieser Muskeln verhindert. Der Deltoides, der beim Menschen zur Erhebung des Armes bestimmt ist, fehlt beim Vogel; seine Stelle vertritt ein dünner, verlängerter Muskel, der durch eine Oeffnung im Gelenke des Schulterknochens den Flügel aufwärts gegen den Rücken zieht; auch die Muskeln der Ellbogen- und Handgelenke, die beim Menschen zu so wichtigen Verrichtungen bestimmt sind, sind bei den Vögeln von geringer Bedeutung. Nachdem Borelli sich bemüht hat zu zeigen, dafs der Schwerpunct des Vogels im untern Theile des Körpers sich befinde, bemerkt er ganz richtig, dafs die vom Flügelschlag verdrängte Luftmasse einem körperlichen Sector aus der Fläche des Flügels und seiner Drehung gleich sey, und dafs der Widerstand der Luftmasse im Schwerpuncte dieses körperlichen Sectors sich vereinige [1]. Diesen Widerstand leitet er einerseits von der Reibung der in allerlei Wirbeln in einander bewegten Lufttheile, hauptsächlich aber von ihrer Elasticität her, deren Wirkung mit der Geschwindigkeit des Flügelschlags zunimmt, so dafs, wenn diese der Schnelligkeit, mit welcher die Luft ausweicht, gleich ist, der Vogel schwebend erhalten wird, und je nach dem Verhältnifs dieser beiden Geschwindigkeiten steigt oder sinkt. Durch eine Berechnung, die freilich bedeutenden Einsprüchen ausgesetzt seyn dürfte, hatte Borelli zu zeigen gesucht, dafs die Kraft der Muskeln, die beim Menschen zum Sprunge erforderlich ist, nahe das 3000 fache seines Gewichts betrage; er glaubt nun, nach dem Verhältnifs der Muskeln und der grofsen Leichtigkeit der Vögel die Muskelkraft der Letzteren beim Schlagen der Luft mit den Flügeln so ziemlich aufs vierfache jener Zahl setzen zu können, woraus er folgert, dafs die Muskelkraft der Flügel das Gewicht des Vogels immerhin um zehntausend mal übertreffe. Er widerlegt hierauf die Meinung derjenigen Naturforscher, welche die horizontale Fortbewegung der Vögel mit der Fahrt eines Schif-

---

fleischigste Brust, ganz das Gegentheil findet sich beim Straufs, der eine wenig erhabene Brust, aber dafür eine beträchtliche Fleischmasse auf dem Rücken hat.

1 In centro gravitatis sectoris solidi.

fes verglichen, das durch die Ruderschläge vorwärts getrieben wird; er bemerkt, dafs diese Voraussetzung der Vernunft und der Evidenz zuwiderlaufe, indem die Flügelschläge immer in verticaler, nie in horizontaler Richtung statt fänden, und erklärt hingegen das Vorwärtsausweichen aus der Biegsamkeit der Federn, vermöge welcher die Flügel beim Schlagen der Luft, an den Enden aufwärts gekrümmt, die Gestalt eines Keiles annähmen, an dessen schräger Fläche der Widerstand der Luft in horizontale sowohl als verticale Abtreibung sich zerlege. Der Schwanz diene dem Vogel nicht zur Seitenlenkung, wie die alten Philosophen meinten, indem er nicht wie das Steuer eines Schiffes vertical gestellt sey, sondern nur in horizontaler Lage sich ausbreite. Tauben, die man der Schwanzfedern beraubt, wissen sich dennoch gut umzuschwenken, so wie auch die Fledermäuse, denen dieses Werkzeug ganz abgeht. Der Schwanz diene nur zum Auf- und Niedersteigen, die Seitendrehung hingegen werde durch verstärktes Schlagen und gröfseres Ausbreiten des einen Flügels bewirkt, wodurch der Körper auf der äufsern Seite mehr gehoben und schneller fortbewegt, mithin um den weniger thätigen Flügel als Ruhepunct gedreht werde; die Wendung des Kopfes und Halses habe hieran durchaus keinen Antheil. Wenn die Kraft, fährt Borelli fort, mit welcher der Vogel aufwärts steigt, seiner Schwere das Gleichgewicht hält, so kann er wohl eine Zeitlang in der Luft horizontal dahin schweben, ist aber bald wieder genöthigt, durch einige Flügelschläge die schwindende Wurfkraft zu ersetzen, wobei ihm der Widerstand der Luft durch Aufhalten des Falles zu statten kommt, so wie eine dünne Stahlfeder, im Wasser, wenn sie nicht nach der Schneide fallen kann, nur langsam niedersinkt. Eben dieser Wiederstand wirkt auch beim Niedersetzen einem allzuraschen Anstofse auf den Boden entgegen, indem der Vogel seinen Schweif möglichst ausbreitet, und wohl auch durch ein Paar schnelle Schläge der Flügel die Fallkraft zu mäfsigen sucht. Dafs *Menschen* sollten fliegen können, hält Borelli für unmöglich, vorzüglich deswegen, weil es ihnen an den dazu nöthigen Brustmuskeln gebreche. Diese müfsten der Analogie zufolge etwa den sechsten Theil vom Gewichte des menschlichen Körpers betragen, und mit den Armen eine Kraftäufserung ausüben können, die das Gewicht des Körpers um zehntausendmal überträfe, da sie jetzt kaum den hundert-

sten Theil jenes Gewichts zu tragen vermögen. Der Vorschlag, mit Hülfe einer luftleeren Blase oder hohlen Kugel aufzusteigen, sey eben so wenig ausführbar. Diese müfste von beträchtlicher Gröfse und von Metall seyn, könnte aber weder mit irgend einem pneumatischen Apparate, noch auch durch Füllen mit Quecksilber luftleer gemacht werden; und der Druck der Luft würde ein solches dünnes Gefäfs bald zusammendrücken. Selbst, wenn alles dieses zu erreichen stände, so würde die Kugel entweder zu schwer bleiben, und an der Erde kleben, oder im Fall sie zu leicht wäre, sich in die Region der Wolken erheben, und gleich diesen ein unlenksames Spielwerk der Winde seyn.

Man sieht, dafs Borelli gleich bei der ersten Untersuchung keinen wesentlichen Umstand übersehen, die Erscheinung richtig aufgefafst, und mit beifallswürdigen Erklärungen begleitet hat. Eine eigentliche Theorie des Fluges war von dem damaligen Bestande der Mechanik nicht zu erwarten. Diese wurde erst 100 Jahre später von dem Preufsischen Consistorialrath Joh. Es. Silberschlag [1] versucht. Seine Abhandlung ist jedoch mehr durch die eingestreuten zahlreichen praktischen Bemerkungen, als von theoretischer Seite interessant. Ein Mifsgriff, den er gleich zu Anfang derselben macht, leitet ihn auf den etwas auffallenden Satz: „dafs der Widerstand der Luft sich wie die Cubi der Geschwindigkeiten der in ihr bewegten Körper verhalte." Das specifische Gewicht des Vogels wird $= 1$, und dasjenige der Luft zu $\frac{1}{900}$ angenommen, weil, wie der Verf. sich ausdrückt, die Vögel meist in höherer und dünnerer Luft schweben. Von der Lage des Widerstandspunctes ist keine Rede, und die Geschwindigkeit des Flügels wird auf den Raum bezogen, den seine äufserste Spitze durchläuft. So unzureichend diese Theorie ist, so schätzbar wird dagegen Silberschlag's Arbeit durch mancherlei eingestreute praktische Bemerkungen und besonders durch die Data, die er über den Flug eines zahmen Adlers mittheilt. Dieser wog 8 ℔ und schleppte am Fufs eine vierpfündige Kugel nach; die Länge seiner Flügel von Spitze zu Spitze (den Leib mit inbegriffen) bestimmte er zu 6 Fufs (Rheinl.?) ihre Breite zu $1\frac{1}{4}$ F. Den Schwingungspunct des Flügels setzt er auf 19 Zoll vom Gelenke ab, die Stelle,

1 Schriften der Berl. Ges. Naturforsch. Freunde 1784. Bd. II. S. 214 — 270.

wo die Brustmuskeln am Flügelarm angewachsen sind zu ¼ Zoll: Hieraus berechnet er, da das halbe Gewicht des Adlers mit der Kugel 6 Pfunde betrug, die Muskelkraft eines Flügels bei jedem Schlage auf 157 Pfunde, also nur auf das 38fache seines Gewichts, was freilich von BORELLI's übertriebener Schätzung weit absteht.

Ungleich vollständiger und wissenschaftlicher behandelte diesen Gegenstand der Akademiker NIC. FUSS in den Petersburges Denkschriften vom J. 1799.[1] Nachdem er die wesentlichen Bestimmungsstücke des Fluges für irgend eine beliebige Gestalt der Flügel hergeleitet hat, bleibt er bei der Figur eines Dreiecks stehen, dessen Eckpuncte das Schultergelenk des Flügels O, das Ellbogengelenk P und seine Endspitze Q sind; und wendet seine Formeln auf die von SILBERSCHLAG gegebenen Data an. Endlich widerlegt er die Meinung REINHOLD FORSTERS[2], dafs der Vogel eine Art Luftballon sey, welcher durch die Verdünnung der Luft in den Knochen, und durch Füllung derselben mit einem durch den Respirations-Procefs erzeugten leichten (phlogistisirten) Gase, sich erhebe. Es sey p das Gewicht eines Volumens Wasser von der Gröfse des Vogels und wenn, wie FORSTER annimmt, ein Fünftel dieses Volumens in Höhlungen und Luftbehältern besteht, so wäre das Gewicht des Vogels (vorausgesetzt, dafs die Höhlungen atmosphärische Luft enthalten) $= \frac{4}{5} p + \frac{\frac{1}{5} p}{800}$, oder wenn sie gar mit einem zehnmal leichtern Gase gefüllt wären $= \frac{4}{5} p + \frac{\frac{1}{5} p}{10.800}$ mithin ist der Unterschied des geringsten Gewichts des Vogels, und des schwersten der umgebenden Luft $= \frac{4}{5} p + \frac{\frac{1}{5} p}{10.800} = \frac{1}{00} p = \frac{31951}{40000}$, und der Vogel bleibt dem ungeachtet noch um 0,8 seines Gewichts schwerer als die Luft, die ihn tragen soll. Selbst bei der unglaublichen Voraussetzung, dafs der Vogel nicht schwerer sey, als die Luft nahe an der Erde, würde ihn doch die Phlogistisirung der Luft in seinen Knochen um $\frac{1}{10}$ nicht höher als 7½ Fufs erheben.

Fig. 71.

---

1 Nova Acta Soc. Scient. Imper. Petrop. Tom. XV. 1806. p. 83.

2 Neue Theorie über den Flug der Vögel, nach den Grundsätzen der Hydrostatik. Berliner Monatschrift October 1784.

Es werde für einen gegebenen Abstand x vom Drehungspuncte des Flügels seine Breite durch y bezeichnet, so daſs $\int y\,dx$ die Oberfläche desselben ausdrückt, wobei Gestalt und Gröſse desselben durch eine Gleichung zwischen y und x gegeben ist; M heiſse sein Trägheitsmoment in Beziehung auf die Schwingungsaxe. Ferner bezeichne O A die Lage des Flügels *vor* dem Schlage, O U *nach* demselben; der durchlaufene Winkel A O U sey $= \varphi$; A O M $= \delta$. Man setze die Winkelgeschwindigkeit des Flügels für einen gegebenen Punct D (O D als Einheit angenommen) $=$ u, die Dauer eines einfachen Flügelschlages $=$ t, endlich sey Π das Moment der gröſsten Kraft, welche der Vogel auf den unbewegten Flügel ausüben, und α die gröſste Geschwindigkeit, welche er dem Puncte D des Flügels mittheilen kann, wenn dieser keinen Widerstand zu überwinden hat; so ist $\Pi\left(1-\frac{u^2}{\alpha^2}\right)$ das Moment der Kraft, die der Vogel in der Lage O U auf den Flügel ausübt. Die Winkelgeschwindigkeit in dem Abstande OZ $=$ x, wird $=$ ux, die dieser Geschwindigkeit entsprechende Höhe $= \frac{u^2x^2}{4g}$; wobei g die Fallhöhe der Körper in der ersten Secunde bedeutet. Würde der Flügel im Wasser bewegt, so hätte das Element des Flügels $y\,dx$ einen Widerstand zu erleiden, welcher $y\,dx$ zur Basis und $\frac{u^2x^2}{4g}$ zur Höhe hätte. Dieser Widerstand ist also $=$ $= \frac{u^2x^2}{4g}\,y\,dx$, und sein Moment in Beziehung auf die Axe $MN = \frac{u^2x^2}{4g}.x\,y\,dx$. Setzt man die Dichtigkeit der Luft zu derjenigen des Wassers $=$ n : 1, und nennt $\int x^2y\,dx = A$; und $\int x^3y\,dx = B$, so ist der ganze Widerstand, den der Flügel erleidet, oder die Kraft V, welche den Vogel in Bewegung setzen kann, $= \frac{n\,A\,u^2}{4g}$, und ihr Moment $= \frac{n\,B\,u^2}{4g}$. Wenn daher diese Kraft als senkrecht auf die Fläche des Flügels im Puncte C wirkend gedacht wird, so findet sich O C aus der Gleichung $V.OC = \frac{n\,B\,u^2}{4g}$; oder $OC = \frac{n\,B\,u^2}{4g.V} = \frac{B}{A}$. Das Trägheitsmoment M des Flügels ist, wenn wir seine Dicke als gleichförmig $=$ d annehmen, $= d\int x^2y\,dx$; (für $x=0$ bis $x=OA$).

Fig. 72.

Nun hat man nach dem Grundsatze der Beschleunigung $\frac{M\,dd\varphi}{2g\,dt^2} = \Pi\left(1 - \frac{u^2}{\alpha^2}\right) - \frac{nBu^2}{4g}$; da nun $u = \frac{d\varphi}{dt}$, so ist $d\varphi^2 = u^2 dt^2$, und wenn man differenzirt, $d\varphi\, d^2\varphi = u\,du\,dt^2$, wobei dt als constant gedacht wird. Dieses giebt $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{u\,du}{d\varphi}$, welche in obiger Formel substituirt, sie in

$$\frac{M}{2g} \cdot \frac{u\,du}{d\varphi} = \Pi - u^2\left(\frac{\Pi}{\alpha^2} + \frac{nB}{4g}\right) \text{ verwandelt.}$$

Macht man zur Abkürzung $\frac{2g}{M}\left(\frac{\Pi}{\alpha^2} + \frac{nB}{4g}\right) = \lambda$, und $\frac{2g\Pi}{M} = \mu$, so erhält die Gleichung folgende einfachere Gestalt:

$$u\,du + \lambda u^2 d\varphi = \mu\, d\varphi.$$

Um diese Gleichung zu integriren, multiplicire man sie mit $2e^{2\lambda\varphi}$, (wo e die Zahl bezeichnet, deren natürlicher Logarithmus $= 1$ ist) und man erhält

$2e^{2\lambda\varphi}u\,du + 2\lambda u^2 e^{2\lambda\varphi} d\varphi = 2\mu e^{2\lambda\varphi} d\varphi$, deren Integral ist $e^{2\lambda\varphi}u^2 = \frac{\mu}{\lambda}\left(C + e^{2\lambda\varphi}\right)$; wobei die Constante C durch die Bedingung bestimmt wird, daſs für $\varphi = 0$, auch $u = 0$, also $C = -1$ sey, woraus man folgende integrirte Gleichung erhält:

$$e^{2\lambda\varphi}u^2 = \frac{\mu}{\lambda}\left(e^{2\lambda\varphi} - 1\right).$$

Es ergiebt sich aus derselben erstens:

$u = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}\left(1 - e^{-2\lambda\varphi}\right)}$, und hieraus der Widerstand, den die Luft dem Flügel entgegensetzt

$V = \frac{nA^2u}{4g} = \frac{n\mu A}{4\lambda g}\left(1 - e^{-2\lambda\varphi}\right)$, endlich das Zeitelement

$dt = \frac{d\varphi}{u} = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} \cdot \frac{\varphi\, e^{\lambda\varphi}}{\sqrt{e^{2\lambda\varphi} - 1}}$, dessen Integral die Dauer eines Flügelschlags angiebt. Setzt man zu diesem Ende

$\sqrt{e^{\lambda\varphi} - 1} = z - e^{\lambda\varphi}$, so ist $e^{\lambda\varphi} = \frac{z^2 + 1}{2z}$; mithin

$d\varphi\, e^{\lambda\varphi} = \frac{(z^2 - 1)\,dz}{2\lambda z^2}$; und $\sqrt{e^{2\lambda\varphi} - 1} = \frac{z^2 - 1}{2z}$;

dieses substituirt, wird

$$t = \frac{\sqrt{\lambda}}{\mu}\int\frac{d\varphi\, e^{\lambda\varphi}}{\sqrt{(e^{2\lambda\varphi}-1)}} = \frac{1}{\sqrt{\lambda\mu}}\int\frac{dz}{z} = \frac{1}{\sqrt{\lambda\mu}}\,.\log.z$$

und indem man den Winkel φ wieder einsetzt,

$t = \frac{1}{\sqrt{\lambda\mu}}.\log.\left(e^{\lambda\varphi} + \sqrt{e^{2\lambda\varphi}-1}\right)$, wobei für $\varphi = 0$ auch $t = 0$ wird, also keine Constante erforderlich ist.

Fig. 71. Nimmt man dem Obigen zufolge an, daſs der Flügel ziemlich nahe einem Dreieck gleich sey, das durch die, den Drehungspunct O durchschneidende Queraxe OD halbirt wird, so wird $OD = a$, $PQ = b$, $OZ = x$, $EF = y$, und der Winkel $PDO = \zeta$; und da $x:y = a:b$, so ist $y = \frac{bx}{a}$. Das Element der Flügelfläche ist nun $y\,dx\,.\,\mathrm{Sin}.\zeta$, und so erhalten wir:

$$A = \int x^2\, y\, dx\,.\,\mathrm{Sin}.\zeta \begin{pmatrix}\text{für } x=0\\ \text{bis } x=a\end{pmatrix} = \tfrac{1}{4}a^3 b\,.\,\mathrm{Sin}\,\zeta$$

$$B = \int x^3\, y\, dx\,.\,\mathrm{Sin}\,\zeta \begin{pmatrix}\text{für } x=0\\ \text{bis } x=a\end{pmatrix} = \tfrac{1}{5}a^4 b\,.\,\mathrm{Sin}\,\zeta$$

$$M = d\int x^2 y\, dx\,.\,\mathrm{Sin}.\zeta \begin{pmatrix}\text{für } x=0\\ \text{bis } x=a\end{pmatrix} = \tfrac{1}{4}a^3 b d\,.\,\mathrm{Sin}.\zeta$$

Fig. 72. Hieraus wird $OC = \frac{B}{A} = \frac{4}{5}a$.

Will man die Steigekraft des Vogels bestimmen, so muſs man den Widerstand V, der in der Richtung VI wirkt nach den Richtungen CG und CH, von denen die eine horizontal, die andere vertical ist, zerlegen. Dieses giebt

$CG = V.\,\mathrm{Sin}.(\delta + \varphi)$ und $CH = -\,V.\,\mathrm{Cos}.\,(\delta + \varphi)$.

Das Moment der erstern Kraft muſs das Moment des halben Gewichts des Vogels nothwendig übertreffen, wenn es steigen soll. Bisher haben wir die Geschwindigkeit u, die Kraft V, und die Zeit t durch den Winkel φ ausgedrückt. Wollte man umgekehrt u, V, und φ durch t geben, so haben wir

$t\sqrt{\lambda\mu} = \log.\left(e^{\lambda\varphi} + \sqrt{e^{2\lambda\varphi}-1}\right)$, mithin auch

$e^{t\sqrt{\lambda\mu}} = e^{\lambda\varphi} + \sqrt{e^{2\lambda\varphi}-1}$, und hieraus

$$e^{\lambda\varphi} = \frac{e^{2t\sqrt{\lambda\mu}}+1}{2e^{t\sqrt{\lambda\mu}}} = \frac{e^{t\sqrt{\lambda\mu}} + e^{-t\sqrt{\lambda\mu}}}{2},$$

was man auch durch $e^{\lambda\varphi} = \mathrm{Cos.\,hyp.}\; t\sqrt{\lambda\mu}$ geben kann.

Und so wird der Winkel

$$\varphi = \frac{1}{\lambda} \log. \left(\frac{e^{t\sqrt{\lambda\mu}} + e^{-t\sqrt{\lambda\mu}}}{2} \right) = \frac{1}{\lambda} \log. \text{Cos. hyp. } t\sqrt{\lambda\mu}.$$

Die Geschwindigkeit $u = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}\left(1 - e^{-2\lambda\varphi}\right)}$, wird

$$u = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}} \cdot \frac{e^{2t\sqrt{\lambda\mu}} - 1}{e^{2t\sqrt{\lambda\mu}} + 1} = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}} \text{ Tang. hyp. } t\sqrt{\lambda\mu},$$ und hieraus endlich die Kraft $V = \frac{n A u^2}{4g} = \frac{n A \mu}{4\lambda g}\left(\text{Tang. hyp. } t\sqrt{\lambda\mu}\right)^2$

Da es schwierig seyn dürfte, die oben vorausgesetzte gröfste Geschwindigkeit α anzugeben, so ist es einfacher, mit Uebergehung derselben statt $\Pi\left(1 - \frac{u^2}{\alpha^2}\right)$ schlechtweg Π zu setzen. Dieses ändert nur die Constante λ, die nun $= \frac{nB}{2M}$ wird. Macht man $\Pi = fP$, wobei P die Muskelkraft selbst und f ihren Hebelarm bedeutet, so ist $\mu = \frac{2gfP}{M}$. Alles Uebrige bleibt ungeändert.

Nennt man ferner p das Gewicht des Vogels und γ die Geschwindigkeit, die er haben mufs, damit der Widerstand der Luft R diesem Gewichte gleich werde, ist sodann v die Geschwindigkeit des Aufsteigens, welche nach einem Fluge von τ Secunden dem Widerstande R entspricht, so hat man, da die Widerstände den Quadraten der Geschwindigkeit proportional sind, $p : R = \gamma^2 : v^2$, mithin $R = \frac{p v^2}{\gamma^2}$. Die gröfste Wirkung der beiden Flügel ist $2V = 2\frac{\Pi}{\alpha} = \frac{2fP}{\alpha}$. Dieser Kraft steht das Gewicht des Vogels p, und der Widerstand der Luft R entgegen. Wir haben also folgende Differenzialgleichungen aufzulösen:

$$dv = \frac{2g\,d\tau}{p}(2V - p - R) \text{ oder auch}$$

$$dv = 2g\,d\tau\left(\frac{2fP}{\alpha} - 1 - \frac{v^2}{\gamma^2}\right),$$ aus dieser ergiebt sich, wenn man $\frac{2fP}{\alpha p} = \varepsilon$ setzt,

$$d\tau = -\frac{\gamma^2 dv}{2g[(1-\varepsilon)\gamma^2 + v^2]} \text{ und}$$

$$d\tau = +\frac{\gamma^2 dv}{2g[(\varepsilon-1)\gamma^2 - v^2]}.$$

Die Integrale dieser beiden Formeln sind wesentlich verschieden, je nach dem Werthe von ε, welcher bei verschiedenen Vögeln, je nach ihrer Natur, nach Gestalt und Gröfse ihrer Flügel, ihrer Muskelkraft, und selbst bei dem nämlichen Vogel je nach seiner Belastung über sein eigenes Gewicht hinaus verschieden seyn kann. Ist $\varepsilon < 1$, so gilt die erste Formel, deren Integral $\tau = C - \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}}$ Arc. Tang. $\frac{v}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}}$ seyn wird, wobei die Constante C so zu bestimmen ist, dafs für den Anfang der Bewegung, wo v der Anfangsgeschwindigkeit c gleich ist, die Zeit τ verschwinde.

Dieses macht die Constante

$$C = \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}} \text{ Arc. Tang. } \frac{c}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}}, \text{ also}$$

$$\tau = \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}}\left[\text{Arc. Tang. } \frac{c}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}} - \text{Arc. Tg.} \frac{v}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}}\right]$$

oder mit Benutzung der bekannten Reductionen trigonometrischer Formeln

$$\tau = \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}}. \text{Arc. Tang. } \frac{(c-v)\gamma\sqrt{1-\varepsilon}}{\gamma^2(1-\varepsilon)+cv},$$

welcher Ausdruck hinwiederum uns die erhaltene Geschwindigkeit giebt, nämlich

$$v = \frac{c\gamma\sqrt{1-\varepsilon} - \gamma^2(1-\varepsilon).\text{ Tg. } \frac{2g\tau\sqrt{1-\varepsilon}}{\gamma}}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon} + c.\text{ Tg. } \frac{2g\tau\sqrt{1-\varepsilon}}{\gamma}}.$$

Diese kann erst nach einer gewissen Zeit

$$\tau = \frac{\gamma}{2g.\sqrt{1-\varepsilon}}.\text{ Arc. Tg. } \frac{c}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}},$$

Null werden. Da nun auf den ersten Flügelschlag ein zweiter, auf den zweiten ein dritter und so ferner folgt, so ist klar, dafs selbst ein mit seiner Beute oder sonstigen Last beladener Vogel durch die blofse Kraft seiner Flügel zu einer gewissen Höhe sich erheben kann. Um den in der Zeit τ durchlaufenen Raum

s zu bestimmen, multiplicire man die obige Gleichung

$dv = 2g\,d\tau\left(\frac{2fP}{\alpha p} - 1 - \frac{v^2}{\gamma^2}\right)$ durch $\gamma^2 v$, und setze statt

$\frac{2fP}{\alpha p}$ seinen Werth ε ein, so hat man

$\gamma v^2 dv = 2gv\,d\tau\,[(\varepsilon - 1)\gamma^2 - v^2]$ oder, da $v\,d\tau = ds$;

$\gamma^2 v\,dv = 2g\,ds\,[(\varepsilon - 1)\gamma^2 - v^2]$, und hieraus

$ds = \frac{\gamma^2 v\,dv}{2g[(1-\varepsilon)\gamma^2 + v^2]}$, und dessen Integral

$$s = C - \frac{\gamma^2}{4g}.\ \log.\ [1 - \varepsilon)\gamma^2 + v^2].$$

Für $v = c$ ist $s = 0$; mithin die Constante

$$C = \frac{\gamma^2}{4g}.\log.\ [1 - \varepsilon)\gamma^2 + c^2];$$

also endlich der durchlaufene Raum

$$s = \frac{\gamma^2}{4g}.\log.\ \frac{(1-\varepsilon)\gamma^2 + c^2}{(1-\varepsilon)\gamma^2 + v^2}.$$

Was dann die Geschwindigkeit γ betrifft, bei welcher der Widerstand der Luft R dem Gewichte p des Vogels gleich wird, so bemerke man, daſs bekanntlich der Widerstand, den eine bewegte Fläche in einer Flüssigkeit erleidet, dem Gewichte eines Prisma gleich ist, welches die bewegte Fläche zur Basis, und die der Geschwindigkeit zukommende Höhe zur Höhe hat, also $= \frac{v^2}{4g}$; und so erhalten wir, wenn der Flächeninhalt der Basis durch H^2 ausgedrückt wird, den Widerstand $R = \frac{H^2\gamma^2}{4g}$, mithin $\gamma = \frac{\sqrt{4gp}}{H}$.

Für den Fall, wo $\varepsilon > 1$, wie dieses bei den unbelasteten guten Fliegern statt findet, hat man nach Obigem

$$d\tau = \frac{\gamma^2\ dv}{2g\,[(\varepsilon - 1)\gamma^2 - v^2]};\ \text{dessen Integral}$$

$$\tau = C + \frac{\gamma}{4g\sqrt{\varepsilon - 1}}\log.\frac{\gamma.\sqrt{\varepsilon - 1} + v}{\gamma.\sqrt{\varepsilon - 1} - v}$$ ist, wobei

die Constante $C = -\frac{\gamma}{4g\sqrt{\varepsilon - 1}}\ \log.\ \frac{\gamma.\sqrt{\varepsilon - 1} + c}{\gamma.\sqrt{\varepsilon - 1} - c}$ gesetzt werden muſs. Dieses giebt die Zeit

$$\tau = \frac{\gamma}{4g\sqrt{\varepsilon - 1}} \log. \frac{(\gamma\sqrt{\varepsilon - 1} - c) \cdot (\gamma\sqrt{\varepsilon - 1} + v)}{(\gamma\sqrt{\varepsilon - 1} + c) \cdot (\gamma\sqrt{\varepsilon - 1} - v)}.$$

Setzen wir der Kürze wegen $\frac{\gamma\sqrt{\varepsilon - 1} - c}{\gamma\sqrt{\varepsilon - 1} + c} = \mathfrak{A}$ und gehen

zu den Zahlen über, so ist $e^{\frac{4g\tau\sqrt{\varepsilon - 1}}{\gamma}} = \mathfrak{A} \cdot \frac{\gamma\sqrt{\varepsilon - 1} + v}{v\sqrt{\varepsilon - 1} - v}$,

woraus sich die Geschwindigkeit

$$v = \gamma\sqrt{\varepsilon - 1} \cdot \frac{e^{\frac{4g\tau\sqrt{\varepsilon - 1}}{\gamma}} - \mathfrak{A}}{e^{\frac{4g\tau\sqrt{\varepsilon - 1}}{\gamma}} + \mathfrak{A}} \text{ ergiebt.}$$

Welchen Werth auch die Gröſsen c, γ, ε haben mögen, so ist wenn $\varepsilon > 1$ immer $\mathfrak{A} < 1$, und $e^{\frac{4g\tau\sqrt{\varepsilon - 1}}{\gamma}} > 1$, und die Geschwindigkeit kann niemals Null werden; sie ist im Gegentheil zunehmend, mit der Zeit τ, ohne jedoch den Werth $\gamma\sqrt{\varepsilon - 1}$, den sie mit $\tau = \infty$ erreicht, überschreiten zu können. Man könnte hieraus den seltsamen Schluſs ziehen, daſs der Vogel ohne Ende steigen könne; allein in groſsen Höhen nimmt der Werth von n, mithin auch der von V bedeutend ab, und auch P und ε müssen sich allmälig vermindern. So wie aber das Letztere kleiner als 1 wird, so geht die *zunehmende* Geschwindigkeit in eine *abnehmende* über. Für $\varepsilon > 1$ wird der durchlaufene Raum $s = \frac{\gamma^2}{4g}$ log. hyp. $\frac{\gamma^2(\varepsilon - 1) - c^2}{\gamma^2(\varepsilon - 1) - v^2}$.

So weit gehen die Entwickelungen der Theorie des Fliegens, wie sie Fuss gegeben hat; obwohl sie noch manches unerklärt lassen, so sind sie doch als erste mathematische Erörterung eines von dieser Seite noch unversuchten Gegenstandes von groſsem Werthe, und Fuss setzt durch Anwendung seiner Formeln auf die von Silberschlag aufgestellten Data sowohl die Richtigkeit seiner Theorie als auch überhaupt die Möglichkeit eines kräftigen und schnellen Fluges durch bloſsen Flügelschlag auſser Zweifel. Er nimmt $OD = a$ zu 20, $PQ = b$ zu 40 engl. Zollen, die Dicke des Flügels d zu $\frac{1}{4}$ Zoll, und den Abstand des Flügelgelenkes von der Längenaxe des Vogels $= K$ zu 2 Z. an, setzt den Winkel $\zeta = 40°$; $\delta = 15°$; $g = 16$F. $= 192$ Z.;

Fig. 71.

den; Cubikfuſs Wasser = 70 Pf., das Gewicht des Adlers ohne die Kugel 8 Pf., mit derselben 12 Pf. oder $13\frac{3}{4}$ Pf. russ. Gewicht, $n = \frac{1}{850}$; die Länge des Hebelarms f, an welchem die Brustmuskeln zogen, = $\frac{3}{4}$ Zoll, P = 152 Pf. = 4295 Cubikzolle Wasser, die Weite des Flügelschlages, oder den Winkel φ leitet er aus der Bemerkung Silberschlag's ab, daſs die Flügelspitze, wenn sie im ruhenden Zustande eben so hoch erhoben wurde, wie der Adler beim Fliegen zu thun pflegte, einen Bogen von 5 Graden durchlief, und bestimmt ihn dem zufolge auf $95° = \frac{19\pi}{36}$. Aus diesen Daten folgt A = 51423; B = 822768; M = 12856; und hieraus $\lambda = \frac{nB}{2M} = \frac{2na}{5d} = 0{,}037647$; $\mu = \frac{2gfP}{M} = 96{,}2233$. Hieraus ergiebt sich die Dauer eines einfachen Flügelschlages t = 0,1876 Secunden; mithin 2t = 0,3752 Sec., was mit Silberschlag's Bemerkung, daſs der Adler in einer Secunde nahe drei Flügelschläge gemacht habe, ziemlich gut zusammenstimmt [1]. Die Bewegung u des Flügels in seiner tiefsten Lage ist hiernach = 17,32 Fuſs, mithin die erworbene Geschwindigkeit der Flügelspitze = 28,87 F., V wird = 23,6 Cubikzoll Wasser oder 0,96 Pf. Zerlegt man diese Kraft, so wird die verticale Wirkung = 0,90 und ihr Moment 14,4, während dem das Moment der Hälfte des zu hebenden Gewichts, nämlich $\frac{K \cdot 13{,}75}{2} = 1375$ ist. Die groſse Schnelligkeit des Flügelschlags (28,8 F. in d. Sec.) bringt für den nächsten Augenblick einen luftverdünnten Raum oberhalb der Flügel zuwege, so daſs der Widerstand, den die Luft dem Aufsteigen des Vogels entgegensetzt, meist nur seinen abgerundeten Rücken und zwar in schräger Richtung trifft, und so wird die Fläche H^2 nur etwa $\frac{1}{4}$ vom horizontalen Querschnitt des Vogels, den man auf einen halben Quadratfuſs setzen kann, betragen; H^2 wird demnach $= \frac{1}{8}$, und hieraus die Geschwindigkeit $\gamma = 48{,}44$; ε wird $= \frac{261}{275}$; und somit ist die Zeit, in welcher die durch den ersten Flügelschlag erlangte Geschwindigkeit des Vogels, die wir zu 10 Fuſs in der Secunde annehmen können, verschwindet, = 4,97 Sec. Hieraus wird

1 Silberschlag's Abh. S. 226.

$V = 9{,}43$, und der am Ende des ersten Flügelschlags, d. h. in 0,1876 Secunden durchlaufene Weg $= 1{,}89$ Fuſs. Ist der Vogel von seiner vierpfündigen Kugel befreit, so wird $p = 8$. Pf. $\gamma = 39{,}5$; $\varepsilon = \frac{37}{40}$; $V = 12{,}08$ F.; und $s = 2{,}07$ Fuſs.

Diese Berechnungen zeigen genugsam, daſs ein kräftiger Flieger, der nur sein eigenes Gewicht zu tragen hat, gar wohl im Stande ist, durch die bloſse Kraft seiner Flügel mit immer gröſserer Schnelligkeit zu einer bedeutenden Höhe sich zu erheben, bis die zunehmende Verdünnung der Luft in den höhern Regionen die Werthe von n, P und ε so stark ändert, daſs die Geschwindigkeit abnehmend wird. Zugleich erhellet, daſs ihm nach einem anhaltenden und lebhaften Flügelschlage Geschwindigkeit genug übrig bleibt, um auch ohne sichtbare Bewegung der Flügel, eine Zeitlang horinzontal in der Luft fortzuschweben, wozu dann noch der Widerstand der Luft und wohl auch ihre Strömungen ihm behülflich seyn mögen. Ueberhaupt bleiben dem Vogel in der Wendung seiner Flügel, ihrer Ausbreitung und Verkürzung, dem Vorstrecken und Einziehen des Kopfes und Halses, der stärkern Bewegung des einen Flügels, der Stellung des Schwanzes u. s. w. eine Menge Mittel übrig, die er zum Steigen, Sinken, zum Fortschweben, zur Spiralbewegung anwenden kann, und welche der Berechnung zu unterwerfen, ein verwegenes Beginnen seyn dürfte.

Ohne die Arbeit von Fuss zu kennen, unternahm es im Jahr 1805 der durch ausgedehnte theoretische Kenntnisse, so wie durch praktischen Sinn ausgezeichnete Physiker, Jos. Prechtl[1], eine Theorie des Fluges zu entwerfen. Der Weg, den er einschlug, scheint merklich einfacher und kürzer zu seyn, indem er das Problem in seinen Elementen auffaſst, und den wichtigsten Theil der Frage, den Widerstand der Luft, beim Umschwung einer Fläche um eine Axe durch sorgfältige Versuche bestimmt.[2] Sodann mittelt er den Widerstandspunct des Flügels, je nach der Gestalt der angenommenen Fläche desselben, aus, und zeigt, wie die Geschwindigkeit und Steigkraft des Vogels von der Schnelligkeit des Flügelschlags und der Gröſse des Schlagwinkels abhängig sey, einige allgemeine Bemerkungen über das Fliegen, und besonders über die Luftbehälter der Vö-

---

1 G. XIX. 376.
2 Ebend. XXIII. 130.

gel begleiten diese Abhandlung[1], welche der Verf. selbst nur für einen Vorläufer einer von ihm versprochenenen vollständigern Theorie des Fliegens erklärt. Da seine Versuche einen Hauptpunct dieser Theorie, den Widerstandscoëfficienten betreffen, und zugleich durch sinnreiche Anordnung und aufmerksame Berücksichtigung fremder Einflüsse sich auszeichnen, so dürfte eine kurze Darstellung des angewandten Verfahrens hier nicht am unrechten Orte seyn.

Auf einer nahe 3 Zoll dicken horizontalen Walze A B ist ein leichter quadratischer Rahmen C D E F also befestigt, daſs seine innere Kante E F genau in der Axe derselben liegt. Ihm hält die in I mit einer Bleikugel beschwerte hölzerne Stange G H in horizontaler Lage das Gegengewicht, und er wird auch durch eben diese Stange vermittelst einer Schraube bei G angezogen. Die Umschwingung desselben wird durch das Sinken eines Gewichtes zuwegegebracht, dessen Seidenschnur um die cylindrische Verlängerung A E der Walze gewickelt ist. Die Lagerstücke ihrer konischen Drehungszapfen waren solid am Geländer einer hohen Treppe befestigt, die einen Fall von mehr als 30 Fuſs erlaubte. Damit beim Ablaufen des Gewichtes die sich abwickelnde Schnur nicht durch ihre Schwere beschleunigend einwirke, wurde unterhalb der Schale, die das Gewicht trug, ein gleiches Stück von etwa 30 F. Länge angehängt, dessen Ende den Boden berührte, wenn die Schale sich oben an der Welle befand. So wie das Gewicht sank legte sich diese Schnur auf den Boden nieder, und man hatte also immer eine constante Gröſse für das Gewicht des Fadens zum Hauptgewicht zu addiren. In den Rahmen C D E F konnte ein Papier eingespannt werden, welches die Widerstandsfläche bildete. Bei den Versuchen mit dem *leeren* Rahmen wurde an diesem Letztern ein Gewicht befestigt, welches dem des Papieres gleich und mit dem Gegengewicht an G H abgeglichen war; auf die Dehnung der Schnur bei verschiedenen Belastungen wurde gleichfalls Rücksicht genommen. Die Höhe von 30 F. gestattete 41 Umdrehungen der Walze, bis das Gewicht auf den Boden kam: die Umdrehungen des Rahmens waren, wenn er bespannt war, bereits nach einigen Umläufen gleichförmig; beim leeren Rahmen aber etwas später. Es wurden daher nur

Fig. 73.

[1] G. XXX. 302.

die 20 *letzten* in Rechnung gezogen. Die darauf verwandte Zeit wurde durch die Schwingungen eines einfachen Halbsecundenpendels bestimmt, welches am Ende der 21sten Umdrehung losgelassen wurde; das Aufschlagen des Gewichts auf den Boden gab das Ende der 41sten Umdrehung zu erkennen. Bei einer spätern Reihe von Versuchen, wurde die Loslassung des Pendels durch folgenden zweckmäfsigen Mechanismus von der Hand des Beobachters unabhängig gemacht, was besonders bei schnelleren Umdrehungen von Wichtigkeit war.

Fig. 74. In derjenigen Höhe, wo das Gewicht bei der zwanzigsten Umdrehung sich befand, wurde am Treppengeländer A ein Arm C angebracht, an dessen Ende m ein sehr leichter Hebel ab beweglich war, dessen kürzerer Arm mb schwerer war als der längere ma. Bei a berührte dieser den kleineren Hebel zx, der sich in dem Ende des Pfostens D in i ebenfalls mit möglichster Leichtigkeit drehte, und dessen kürzerer Arm zi ebenfalls das Uebergewicht hatte. Der Druck der seitwärts gehaltenen Pendelkugel hielt nun das leichtbewegliche, wohlabgeglichene Hebelwerk in der Lage, dafs, sobald der Arm mb vom fallenden Gewichte berührt wurde, z im nämlichen Momente durchschlug und das Pendel seine Schwingungen begann, ohne später von dem niedergesunkenen Hebel zi aufgehalten zu werden.

Dafs dieser Apparat auf die Senkung des Gewichts keinen Einflufs ausüben konnte, ergab sich aus der Berechnung der einzelnen Hebel und ihrer Ueberwuchten. Es war nämlich $mb = 13$; $mx = 25$; $ix = 10$ und $iz = 8{,}5$ Zolle; der Hebelarm mb hatte eine Ueberwucht von $\frac{1}{16}$; derjenige in iz von $\frac{1}{32}$ Loth. Die 2 Loth schwere Kugel des Pendels war um 6° von der Verticale abgehalten. Der niederwärtsgehende Druck in z fand sich nach der Formel $\frac{mb \,.\, ix + \frac{1}{32}}{16\, mx \,.\, iz} = 0{,}0695$ Loth. Die Reibung des Pendels am Hebel $= \frac{1}{3}\, 2 \sin 6° = 0{,}0697$ Loth. Es blieb also in z nur eine Last von 0,0002 Loth zu überwinden übrig, welche in b selbst nur 0,0003 Loth ausmacht.

Um den Widerstand, welchen die Luft dem Umschwunge der Papierfläche entgegensetzte, zu bestimmen, bediente sich Prechtl folgender einfacher Methode: Nachdem man für ein gegebenes Gewicht P die Zeit t ausgemittelt hatte, welche für 20 Umdrehungen des bespannten Rahmens erforderlich war,

wurde das Papier herausgenommen, sein äquivalentes Gewicht in den Rahmen eingesetzt, und nun auf der entgegengesetzten Seite der Welle ein zweites Fallgewicht Q angebracht, dessen Faden mit demjenigen von P eigentlich eine Schnur ohne Ende bildete. Dieses wurde so lange abgeändert, bis der leere Rahmen genau in eben so viel Zeit seine letzten 20 Umläufe vollendete, als der Bespannte dazu gebraucht hatte. Das Gewicht Q war also genau dem Widerstande gleich, den die Luft der Papierfläche entgegensetzte; selbst sein Druck auf die Zapfen in verticaler Richtung war von demjenigen nicht verschieden, den der Widerstand auf die Papierfläche in stets ändernder Richtung ausübte. Ist nun K die Entfernung des Mittelpuncts des Widerstandes auf die Fläche von ihrer Axe; b der Halbmesser der Welle, so ist der Widerstand der Luft $R = \frac{6}{k} Q$.

In diesem Widerstandspuncte finden sich alle einzelne Widerstände, die auf die Fläche wirken, vereinigt. Er muſs also in Beziehung auf die Drehungsaxe dasselbe statische Moment haben, als der Widerstand auf die ganze Fläche vertheilt. Da die Widerstände der Ausdehnung der Flächen, und den Quadraten der Geschwindigkeiten proportional sind, die letzteren aber sich, wie die Entfernungen von der Axe verhalten, so verhält sich der Widerstand eines jeden Punctes oder Elementes der Fläche, wie dieses Element und das Quadrat seiner Entfernung von der Axe; und in Beziehung auf sein statisches Moment, wie die dritte Potenz dieser Entfernung. Diese heiſse x, und A bedeute den Flächenraum eines Rechtecks, K dessen Widerstandspunct, b seine Breite, so verhält sich das statische Moment des Widerstandes auf das Flächenelement, wie $b\,dx \cdot x^3$, und dasjenige des Widerstandes auf die ganze Fläche wie $K^3 A$. also $\int b \cdot dx \cdot x^3 = K^3 A$. Ist die Höhe des Rechtecks $= m$, so ist $A = bm$, daher $K^3 = \frac{x^4}{4m} + C$, wo die Constante $= 0$, da der Widerstand für $x = 0$ verschwindet. Für $x = m$, wenn der Widerstandspunct für das Rechteck von der Höhe m gelten soll, ist daher $K = \sqrt[3]{\frac{m^3}{4}} = m\sqrt[3]{\tfrac{1}{4}} = 0{,}62996.m.$

Die innere Höhe des quadratischen Rahmens betrug 136,8 Lin., daraus wird $K = 86{,}184$ Lin. Der Halbmesser der Welle maſs 16,506 Lin., ihre Länge 8 Zoll.

Setzt man $A = b\,(m - n)$, so wird $K' = \sqrt{\frac{m^4 - n^4}{4\,(m - n)}}$; und dieses ist der Widerstandspunct eines freischwingenden Rechtecks, dessen mit der Axe parallele äufsere und innere Kanten um die Werthe m und n von derselben abstehen. Es verhalten sich ferner die Widerstände zweier Rechtecke von verschiedener Breite, welche um eine gemeinschaftliche Seite als Axe sich drehen, wie die dritten Potenzen ihrer Breiten; also wenn m den Abstand der entferntern, n denjenigen der nähern Kante von der Axe, R den Widerstand des erstern gröfsern, r den des nähern Rechtecks bezeichnet, so ist $r : R = n^3 : m^3$ also $r = \frac{n^3}{m^3} R$; dieser Werth von R abgezogen, giebt den Widerstand der Luft auf das äufsere freischwingende Rechteck $= r' = R\left(1 - \frac{n^3}{m^3}\right)$. Mit Hülfe dieser beiden Sätze wurden sowohl die Entfernungen der Widerstandspuncte a und b auf den mit der Axe parallelen und eben so c auf den in einen Stab vereinigt gedachten winkelrechten Kantenstücken des Rahmens, als auch die Gröfsen dieser Widerstände o, p, q berechnet. Die Entfernung des gemeinsamen Widerstandspuncts von der Axe war dann

$$d = \frac{ao + bp + cq}{o + p + q} = 103{,}25 \text{ Lin.}$$

Es ergiebt sich hieraus eine Verbesserung von Q, so dafs $Q' = Q + = \left(1 - \frac{K}{d}\right)\alpha = Q + 0{,}16535\,\alpha$. Die Gröfse α ist gleich dem Gewicht p, welches statt P angehängt werden müfste, um den leeren Rahmen mit eben der Geschwindigkeit zu bewegen, wie der Bespannte durch P bewegt wurde. Doch mufs dieses p noch um eine aus den Versuchen zu bestimmende, durch die Schwungkraft zum Theil modificirte Reibungsgröfse ϱ vermindert werden, so dafs $\alpha = p - \varrho$. Heifsen zwei auf einander folgende Zeiten t' und t''; p' und p'' die in gleicher Ordnung ihnen zugehörigen Gewichte; so ist $\varrho = \frac{t'^2 p' - t''^2 p''}{t'^2 - t''^2}$; für $P = 6$ Loth ergab sich $\varrho = 0{,}625$ Loth; für $P = 80$ Loth $= 0{,}684$ Loth, und hieraus folgte die Correction $0{,}16535 . \alpha = 0{,}107$ Loth und $1{,}582$ Loth für diese beiden Fälle. Der wahre absolute Widerstand R findet sich

dann $= \frac{b'}{k}\ Q'$; wo k den Widerstandspunct der Papierfläche, b′ den um die halbe Schnurdicke vergröſserten Radius der Welle bezeichnet. Ist nun der Inhalt der gebrauchten Flache $= a$, das Gewicht eines Wiener Cubikfuſses Luft bei 10° R. (der mittlern Temperatur während der Versuche), q; (der Barometerstand in *Brünn* ist nicht angegeben); die der Geschwindigkeit des Widerstandspunctes zugehörige Höhe h, wo $h = \frac{c^2}{4g}$; und der Coëfficient dieser Höhe $= x$, so ist $x = \frac{R}{h\,a\,q} = \frac{R}{c^2 \frac{a\,q}{4g}}$. Nun ist $a = 0{,}819$ Quadrat-Fuſs; $q = 2{,}228$ Loth, $g = 15{,}515$ Wiener Fuſs; also $x = \frac{R}{0{,}0294\ .\ c^2}$.
Die Geschwindigkeit c für 1 Secunde erhält man, wenn man den vom Widerstandspunct in 20 Umdrehungen durchlaufenen Raum durch die beobachtete Anzahl Secunden dividirt; also, wenn man die beobachteten halben Secunden $= t$ setzt, $c = \frac{4k\ .\ 20\ .\ \pi}{t} = \frac{150{,}4096}{t}$.

Prechtl hat mit seinem Apparate zwei Reihen von Versuchen angestellt, (jeden zu 20 Umdrehungen) deren Data hier folgen:

Erste Reihe.

P in Lothen.	Zeit in ½ Sec.	Werthe in Lothen. Q	Q′	Geschw. c in W. Fuſsen.	R in Lothen.	Höhen coëffic.
6	53,1	4,500	4,607	2,838	0,888	3,751
10	40,2	8,000	8,167	3,741	1,575	3,826
15	32,6	12,281	12,610	4,614	2,432	3,884
20	28,3	16,625	16,894	5,314	3,258	3,922
25	25,2	20,750	21,296	5,968	4,107	3,920
30	23,1	24,470	25,139	6,511	4,846	3,887
35	21,5	28,280	28,815	6,995	5,557	3,861
40	20,1	32,080	32,945	7,483	6,358	3,858
45	19,1	36,081	37,039	7,874	7,143	3,917
					Mittel =	3,869.

Zweite Reihe.

P in Lothen.	Zeit in ½ Sec.	Werthe in Lothen. Q	Q′	Geschw. c in W. Fuſsen.	R in Lothen.	Höhen coëffic.
50	17,17	42,281	43,561	8,762	8,441	3,789
55	16,33	46,281	47,659	9,216	9,235	3,697
60	15,75	50,760	52,121	9,555	10,100	3,761
65	15,00	55,000	56,311	10,027	10,912	3,690
70	14,50	59,000	60,485	10,373	11,721	3,704
75	14,00	63,250	64,401	10,743	12,479	3,677
80	13,50	67,438	69,019	11,141	13,374	3,666
					Mittel =	3,712.

Die beiden Mittel differiren um 0,157; bei der erstern Reihe war ein Seidenfaden von 0,1143 Lin. Halbmesser, bei der zweiten eine hänfene Schnur gebraucht worden, deren halbe Dicke 0,1946 Lin. betrug. Bei der letztern sind auch die Geschwindigkeiten stärker, und die Zeitbestimmung des verbesserten Apparates wegen genauer. Der mittlere Höhencoefficient mag auf 3,79 angenommen werden. Die beträchtliche Abweichung dieses Höhencoefficienten von den freilich weit ungenauern Bestimmungen Hutton's[1] und Schober's[2], die ihn nur auf $1\frac{1}{2}$ setzen, erheischte eine ausführlichere Darstellung der dabei gebrauchten Methode.

Die Anwendung dieser Versuche zur Erklärung des Fluges ist nach Prechtl kürzlich folgende: Man bestimme zuerst die Gestalt der Flügelfläche, die bei den Vögeln je nach ihrer Bestimmung verschieden ist. Prechtl stellt drei Classen auf. In die *erste* setzt er diejenigen Thiere, deren Flügel aus einer zwischen ihren Flügelrippen ausgespannten Haut bestehen. Dahin rechnet er die Fledermäuse, die Schmetterlinge, überhaupt alle fliegenden Insecten. Zur *zweiten* rechnet er die große Zahl der Vögel, bei welchen der erste Flügelknochen größer ist, als der zweite, z. B. die Hühner und Tauben. Zur *dritten* und obersten Classe gehören endlich die Vögel, bei denen der zweite Flügelknochen den ersten an Größe übertrifft. In diese gehören die *Raubvögel*. Führt man Linien durch die Puncte des Flügels, welche den Widerstand begrenzen, so erhält man nahe die Figur ABCDE in welcher das Rechteck ABCD der *Fächer* CDE die *Schwinge* ist. Wenn nun diese Fläche sich um die Axe AB dreht, so gehört der erzeugte Widerstand der Geschwindigkeit zu, mit welcher sich der Widerstandspunct K des Flügels bewegt.

Fig. 75.

Nach Obigem ist für das Rechteck ABCD die gesuchte Entfernung $K = BD\sqrt[3]{\frac{1}{4}}$. Man setze $BE = B$; $BD = b$, und mache in der oben gegebenen Integralgleichung $\int y\,dx \,.\, x^3 = K^3 A$, die Größe $A = y$. Nun ist $y = \frac{a}{B-b}(B-x)$, und $A = \frac{a(B-b)}{2}$. Hieraus wird $K^3 = \frac{2}{(B-b)^2}\left(\frac{Bx^4}{4} - \frac{x^5}{5}\right) + C$;

1 Gren's Journ. d. Phys. VII. 283.

2 Karsten Lehrb. der Mathem. VI. 627. und Hamb. Magaz. IX.

wo $C = -\frac{2}{(B-b)^2} \cdot \left(\frac{Bb^4}{4} - \frac{b^5}{5}\right)$, mithin die Entfernung des Widerstandspunctes K' von der Axe auf der Schwinge $CDE = K' = \sqrt[3]{\frac{B^5 - 5Bb^4 + 4b^5}{10 \cdot (B-b)^2}}$. Bezeichnet ferner R den Widerstand auf das Rechteck, r denjenigen auf das Dreieck, so ist $R : r = \frac{b^3}{B^3} : \frac{1}{4}\left(1 - \frac{b^3}{B^3}\right)$, oder $r = \frac{1}{4}\left(\frac{B^3}{b^3} - 1\right)$, wenn $R = 1$ gesetzt wird. Aus der Entfernung der Widerstandspuncte in beiden Flächen und dem Verhältnifs ihrer Widerstände findet sich die Entfernung des gemeinsamen Widerstandspunctes im Flügel $d = \frac{K'r + k}{r + 1}$.

Es sey nun c die Geschwindigkeit, bei welcher der Widerstand, den ein freifallender Körper in der Luft erleidet, seinem eigenen Gewichte P gleich ist, w die Oberfläche desselben, die den Widerstand leidet; p das Gewicht von einem Cubikfufs Luft, so ist $P = \frac{c^2}{4g} \cdot 3{,}8\, p \cdot w$, wobei c von der Gröfse und Schnelligkeit des Flügelschlags abhängt. Der Rückschlag oder Aufschlag des Flügels ist mit dem Niederschlage so ziemlich von gleicher Dauer; denn wenn auch der Rückenmuskel, welcher den Flügel heraufzieht, den Brustmuskeln an Stärke nachsteht, so wird hingegen auch der Widerstand der Luft durch die Lage und Gestalt der Federn, und besonders durch das mit dem Niederschlage bewirkte Vacuum über dem Flügel[1] bedeutend vermindert. Setzen wir also den Raum, welchen der Widerstandspunct des Flügels bei jedem Niederschlage durchläuft $= S$, und die Zahl dieser Schläge in 1. Sec. $= n$; so ist $c = 2ns$. Dieser Raum wird durch den Winkel bestimmt, welchen die Richtungen des Flügels am Anfange und am Ende eines Schlages einschliefsen, und den man den *Schlagwinkel* nennen kann. Heifst dieser m, so ist $s = \frac{2\pi \cdot d}{360} \cdot m$, also $c = \frac{4n\pi d}{360} \cdot m$ und $P = \frac{3{,}8 \cdot p \cdot w}{4g} \left(\frac{4 \cdot n\pi d}{360}\right)^2 m^2$. Die Gröfsen w, n, d und m sind sowohl bei verschiedenen Vögeln,

1 Nach der obigen Bemerkung von Fuss.

als auch bei dem nämlichen Vogel, je nach seiner Willkür, merklichen Aenderungen unterworfen. Das Ausspannen und Einziehen der Flügel, ihre Steifung, besonders die Frequenz der Schläge, und die Ausdehnung des Schlagwinkels, machen in Verbindung mit noch andern weniger beachteten Hülfsmitteln die bewundernswürdige Kunst des Fliegers aus, mit welcher der Vogel die schnellsten, mannigfachsten und sichersten Bewegungen in beliebigem Maſse ohne Anstrengung zu vollführen scheint.

Wendet man die gegebene Formel auf Silberschlag's Adler an, bei welchem $w = 8$ Quadratfuſs; $p = 0{,}078$ Pf. Berl. Gewicht, $n = 3$ ist, und setzt $d = 1{,}65$ Fuſs; $m = 85°$, so wird $P = 8{,}069$ Pf. Da der Vogel 8 Pf. wog, so behielt er also bei diesem Flügelschlage 0,069 Pf. Steigekraft; bei der Belastung mit der Kugel hätte dieses einen Schlagwinkel von 103°,6 erfordert. Die Geschwindigkeit ist für den erstern Fall $14\frac{3}{5}$; im letztern 17,7 Fuſs in der Secunde. Zieht man hier die beständigen Gröſsen zusammen, so wird $P = 0{,}0000066 . w . d^2 . n^2 . m^2$; (für alt franz. Maſs und Gewicht). Der Werth der Widerstandscoëfficienten ist hierbei von geringem Einfluſs; eben so auch die Oberfläche des Flügels, wie wir das bei schlechten Fliegern sehen, deren Flügel zwar breit, aber kurz und abgerundet sind. Weit wichtiger ist die Entfernung des Widerstandspunctes, der auch eben bei den schnellsten Fliegern, den Schwalben und bei den Seevögeln, und Raubvögeln der gestreckten Gestalt ihrer schmalen Flügel wegen, weit hinausgerückt ist. Eben so kräftig wirkt die Schnelligkeit der Flügelschläge, und besonders auch die Weite des Schlagwinkels. Leider sind die beiden letztern Gröſsen ziemlich schwer zu bestimmen; doch darf man n wohl zwischen 2 und 20 und m zwischen 20° und 150°, für gewöhnlich etwa 90 Grade annehmen. Zuweilen überschreitet m noch das angenommene Maximum, wie man dieses beim Fluge der Tauben aus dem hörbaren Zusammenschlagen der Flügel abnehmen kann. Bei den schwachen Fliegern, den Sperlingen, Colibris, den Käfern ist n oft bedeutend, und scheint mit der Gröſse und Länge der Flügel, vielleicht auch mit der Muskelkraft des Vogels, im umgekehrten Verhältnisse zu stehen.

Wenn nun auch die hier aufgestellten Theorien die Möglichkeit des Aufsteigens durch den Flügelschlag auſser Zweifel

setzen, so bleibt von da bis zur vollständigen Erklärung des Fluges, noch ein grofser Schritt zu machen übrig. Namentlich sollte noch deutlicher nachgewiesen werden, wie das verticale Niederschlagen der Flügel den Vogel mit so grofser Schnelligkeit vorwärts schiebe, ob BORELLI's oben angeregte Erklärung, dafs dieses durch die Umbiegung der Federspitzen geschehe, dazu genügend sey. Bei den Fischen sind die Flossen gröfstentheils vertical, auch die Fläche des Hinterleibes, dessen schlängelnde Schwingungen und Biegungen so bedeutenden Antheil an der Fortbewegung haben, und eben so die Schwanzflossen sind (die Buttfische ausgenommen,) meist nach der Verticalfläche ausgedehnt, und ihre Kraftäufserungen gehen nach horizontaler Richtung. Allein bei den Vögeln sind diese, so viel bei einem so flüchtigen Gegenstande wenigstens der Anschein lehrt, nicht nach der Längenaxe des Körpers gerichtet, sondern senkrecht auf dieselbe. Nur, wenn der Vogel seinen Lauf plötzlich aufhalten will, um irgendwo abzusitzen, stellt er sich aufrecht, und verwandelt den verticalen Flügelschlag in eine seitwärtsgehende Bewegung. Gemeiniglich ist die Richtung des Körpers mit derjenigen des Fluges übereinstimmend. Da nun der Vogel beim Aufsteigen, das niemals in senkrechter, sondern in einer gegen den Horizont mehr oder weniger geneigten Richtung statt findet, selbst in schräger Richtung sich hält, so mufs er entweder fähig seyn, seine Flügel etwas rückwärts drehen und ihre Ebene in horizontale Lage bringen zu können; oder man müfste voraussetzen, dafs seine Erhebung durch den aufwärts gehenden Druck der an der umgebogenen Flügelkante ausweichenden, durch einen schrägen Flügelschlag comprimirten Luft bewirkt werde. Vielleicht findet beides statt, und so mag der Vogel auch seine horizontale Fortbewegung theils dem von BORELLI angegebenen Grunde, (der vielleicht nicht so unwirksam seyn dürfte, weil er beim Auf- und Niederschlagen eintritt) theils auch einer obwohl sehr geringen Drehung der Flügelebene zu danken haben.

Bemerkenswerth ist auch die Fähigkeit einiger der gröfsern Flieger, eine geraume Zeit mit ausgespannten Flügeln, ohne sichtbare Flügelschläge, dahin *zu schweben*. Es ist ihnen dazu nicht nur die erworbene Geschwindigkeit, sondern besonders auch die beträchtliche Ausdehnung ihrer Flügel behülflich, die ihnen als *Fallschirm* dienen. Den Schwalben ist das Planiren nur

bei einer beträchtlichen Geschwindigkeit und nicht auf gar lange Zeit ohne erneuerte Schläge möglich, während dem die grofsen Albatros (*Diomedea exulans*) auf dem Meere dicht über der Wasserfläche, jeder Seitenfläche der Welle sich anpassend, dahin schweben, ohne dafs man bei ihnen eine andere Bewegung, als ein langsames Wiegen des ganzen Körpers wahrnehmen könnte. Der *Moosweih* und der *Milan*, wenn sie irgendwo nach Beute sich umsehen wollen, bewegen sich auf eben diese Weise stundenlang ohne Flügelschlag in grofsen Spiralen umher, die sie allmälig der Erde zuführen. Dafs bei einmal gegebener Wurfgeschwindigkeit des Vogels der Widerstand der Luft auf die ausgebreiteten Flügel seinen Körper genugsam unterstütze, beweiset unter Anderen die geschickte Art, wie der Habicht auf dem Wasser seine Beute erhascht. Er stürzt von einer mäfsigen Höhe in einer schönen Curve, deren nach der Erde hin convexer Scheitel nur ein Paar Zolle von der Wasserfläche absteht, hinunter, hauet mit der Klaue ins Wasser, und steigt nun, ohne einen Flügel zu bewegen, durch die blofse Erhebung der Axe seines Körpers im andern Zweige der Curve bis zu einer ziemlichen Höhe wieder an. Dafs den Vögeln beim Schweben auch der entgegenströmende Wind sehr zu statten komme, ist leicht zu begreifen; sogar dient er ihnen zu zuweilen, um ohne Flügelschlag in Schraubengängen aufzusteigen.

Man hat auch den *Schwanz* des Vogels für ein wesentliches Werkzeug des Fluges gehalten, allein der Umstand, dafs Vögel, die durch Zufall oder Absicht derselben beraubt worden sind, dennoch gut fliegen, zeigt, dafs er wenigstens nicht unentbehrlich sey. Zum Wenden dient er nicht, da er nicht in horizontaler Richtung sich bewegen kann. Der Vogel verrichtet dieses durch Bewegung des Halses, ungleichen Flügelschlag, am meisten durch Neigung der durch die Flügel gehenden Queraxe seines Körpers; den Schwanz breitet er vorzüglich dann aus, wenn er entweder den Fall nach der Erde mäfsigen, oder bei fast aufrechter Erhebung des Körpers seinen Flug plötzlich aufhalten will. Auch dient er ihm im Fluge zu allmäliger Hebung und Senkung, wie man dieses an dem schlangenförmigen Fluge der Bachstelze bemerken kann[1].

---

1 Zieht man die Bauchmuskeln des Vogels durch ein um den

Die *Höhe*, in welcher die Vögel fliegen, ist je nach ihrer Art, und dem Zweck des Fluges sehr verschieden. Silberschlag[1] sah ein Paar Adler über eine Wolke wegfliegen, deren Höhe er auf 3000 Fuſs schätzte: die Züge der Strichvögel z. B. der Kraniche gehen oft hoch über den Brocken (gegen 4000 Fuſs Höhe) hinweg. Noch merkwürdiger ist ihre *Schnelligkeit*. Raubvögel sollen, 6 deutsche Meilen in einer Stunde machen; und König Heinrich II. in Frankreich soll einen Falken gehabt haben, der, in Fontainebleau entwischt, in 24 Stunden in Maltha soll gefunden worden seyn, was 19 Lieues für die Stunde gäbe[2]. Von den Schwalben wird behauptet, daſs sie ihren Zug über das Mittelländische Meer in 8 Tagen vollführen.

Eine besondere Eigenthümlichkeit im Baue der Vögel sind die *Luftbehälter* derselben. Die Lunge des Vogels ist am Rücken angewachsen, und steht mit den im Unterleibe befindlichen Luftbälgen in Verbindung, wäre der Vogel genöthigt, wie die Säugthiere, immer durch Nase und Mund zu athmen, so würde ihn beim schnellen Fluge die entgegenströmende Luft bald ersticken. Die Anfüllung des Körpers mit Luft scheint den gewöhnlichen Athmungsproceſs in diesem Fall zu ersetzen, und dient überdem, den Muſskeln festere Stützpuncte zu geben[3]. Namentlich mag diese Vermehrung der Steifigkeit durch die starke Verdichtung der Luft in den Röhren der Knochen bewirkt werden. Schon Camper hat bemerkt, daſs die Knochen der Vögel mit comprimirter Luft erfüllt waren, und Bloch zeigte durch den Versuch, daſs die Luft in den Knochen des ersten Flügelgliedes durch eine Oeffnung am Wirbel eintrat, und daſs bei Einblasung der Luft die Flügel sich ausdehnten. Als man den Knochen zerbrach, fuhr die Luft mit einer solchen Gewalt aus demselben heraus, daſs sie ein Licht ausblies[4]. Daſs die Vögel auch in verdünnter Luft ohne Schwierigkeit

---

Hintertheil des Thorax geschlungenes Band so zusammen, daſs sie in ihren Bewegungen gehemmt sind, so kann der Vogel nicht fliegen. Beob. von Lorry. S. d. unten angeführte Mém. du Mus. VI. 447.

1 a. a. O. S. 259. 267.

2 Prechtl in G. XXX. 318.

3 Nach Blainville hat die Fledermaus eben so ausgedehnte Lungen wie die Vögel.

4 Silberschlag a. a. O. S. 219.

fliegen, beweist der Versuch Biot's und Gay-Lussac's bei ihrer Luftfahrt am 24. Aug. 1804. Zwei Vögel, ein Grünfink (Verdier) und eine Taube, die sie in einer Höhe von 10500 F. in Freiheit setzten, schienen ohne Mühe zu fliegen, senkten sich aber dann doch sogleich in einer steilen Spirale zur heimathlichen Erde nieder[1]. Dagegen fliegen die Adler und Geyer ohne Mühe in noch gröſsern Höhen.

Ueber den Flug der Insecten hat Chabrier[2] eine weitläufige Abhandlung als Auszug einer noch gröſsern Arbeit geliefert. Ihr Flug unterscheidet sich hauptsächlich in zwei Arten; den *schwirrenden* Flug, und den *flatternden* Flug, der zuweilen auch in den *schwebenden* übergeht. Der erstere findet bei den Käfern, Bienen, und Fliegen statt; der letztere bei den Schmetterlingen, von denen diejenigen, die mit gröſsern und längern Flügeln versehen sind, auch wohl auf kurze Zeit einen schwebenden Flug annehmen. Die Flügel der Insecten bilden eine zusammenhängende, mit Rippen und Aesten durchzogene, Haut, die bei den Käfern, Libellen und den Zweiflüglern durchsichtig, bei den Schmetterlingen mit kleinen bunten Schuppen oder Ziegeln, als einem feinen Staube bedeckt ist. Einige, wie die Käferarten, falten diese Flügel zusammen, um sie unter eine feste hornartige Decke zu verbergen, die jedoch zum Fliegen selbst wenig beizutragen scheint, sondern vielleicht als Fallschirm dienen mag; bei andern, z. B. den Tagschmetterlingen und den Libellen bleiben sie immer ausgespannt, und werden im ruhenden Zustande des Insects auf dem Rücken in verticaler Lage an einander gelegt. Fast alle fliegenden Insecten haben *vier* Flügel, von denen jedoch die vordern bei weitem die Hauptwerkzeuge des Fluges zu seyn scheinen; nur die Zweiflügler sind davon ausgenommen, bei welchen an der Stelle der Hinterflügel ein Paar Kölbchen sogenannte *Balancirstangen* (halteres) sich befinden, deren Zweck noch nicht ausgemittelt ist. Auch bei den Insecten, wie bei den Vögeln spielt die *eingeschlossene Luft* eine wichtige Rolle; und wohl möchte sie bei diesen noch mehr, als bei den Vögeln nothwendig seyn, um dem gröſstentheils weichen Körperbau die zur Anstrengung

---

1. G. XX. 14.

2. Mém. du Mus. d'Hist. nat. VI. 410 — 475. VII. 297 — 372. VIII. 47 — 110.

der Muskeln nöthige Consistenz zu geben. Ihre Brust ist elastisch, bei einigen mit sehr kleinen Klappen versehen[1], die sie nach Belieben öffnen und schliefsen können; indem das Thier zum Fluge sich rüstet, sieht man den Leib derselben sich aufblähen. Das *Summen* vieler Insecten während des Flugs schreibt Chabrier besondern Organen zu, die als kleine Puncte am Thorax wahrzunehmen sind; und von denen einige als Oeffnungen in einer convexen Membrane erscheinen und mit freischwingenden Schuppen versehen sind[2]. Diejenigen, welche dieses Geräusch ausschliefslich von der Schwingung der Flügel herleiten wollen, stützen sich auf die Behauptung, dafs der Ton allmälig abnehme, so wie man die Flügel verkürze. Allein, nicht zu rechnen, dafs durch eine solche Operation die Lebhaftigkeit der Flügelschläge und der damit gleichzeitigen Luftausströmungen geschwächt wird, dafs vielleicht ein Theil jener Luft durch die geöffneten Gefäfse der Flügel selbst entweicht, so stehen diesem Versuch folgende zwei bestimmte Erfahrungen entgegen: Wenn man die Flügel einer blauen Schmeisfliege mit Wachs zusammen klebt, so dauert das Gesumme fort; löfst man hingegen die erwähnten Schalldeckel vorsichtig ab, so fliegt das Insect dennoch, aber ohne Geräusch: Man sieht dann während der Flügelbewegung die darunter liegende Membrane sich weit öffnen. Bei den Maikäfern ist dieses Stimmorgan sichtbar zwischen den beiden Flügelsectoren nahe am Gelenke derselben angebracht. Uebrigens ist es sehr wohl möglich, dafs bei einigen Insecten das Summen wirklich vom schnellen Flügelschlage entstehe, da wir auch bei den Vögeln ein Geräusch solcher Art wahrnehmen, dafs bei den kleinern Vögeln z. B. den Sperlingen als ein schwirrender, bei gröfsern z. B. den Tauben und Möwen als ein pfeifender Ton sich äufsert; noch lauter ist das Sausen oder Rauschen der Raubvögel und der Schwäne; die Eule hingegen, die zu ihren nächtlichen Raubzügen eines leisen Flugs bedarf, hat die Enden ihrer Flügelfedern mit einem feinen Brem besetzt[3], der jenes Geräusch aufhebt.

Einige Schriftsteller, z. B. Silberschlag[4] und Hu-

---

1 Chabrier a. a. O. VI. 447.

2 Ebend. VI. 454.

3 Bemerk. von Silberschlag a. a. O. 232.

4 a. a. O.

ber[1] haben es versucht, die Classen der Vögel nach der Gestalt ihrer Flügel einzutheilen: der letztere beschränkt sich hierbei auf die Raubvögel, die er in *Ruderer* und *Segler* (rameurs et voiliers) unterscheidet. Für verschiedene lehrreiche Bemerkungen über diese Thiergattung verweisen wir auf diese Verfasser selbst; uns genügt hier, das, was über die Theorie des Fluges bisher versucht worden ist, beigebracht, und vielleicht die Aufmerksamkeit der Physiker auf diese etwas vergessene Aufgabe gelenkt zu haben. *H.*

Flintglas.

Eine Glasart, die ihren englischen Namen *Flintglas* von Flint, Feuerstein, hat, und die in der praktischen Optik dadurch merkwürdig geworden ist, dafs sie, als stärker Farben zerstreuend, sich vorzüglich brauchbar zu den Concavlinsen der zusammengesetzten achromatischen Objective zeigte. Diese Linsen werden nämlich aus einer concaven, das Licht stark zerstreuenden Linse von Flintglas, und aus einer oder zwei convexen Linsen aus einer andern weniger stark zerstreuenden Glasart, gewöhnlich aus englischem Kronglase *Crownglas*, verfertigt[2]. Dollond, der zuerst die Brauchbarkeit des Flintglases zu diesem Zwecke erkannte, gab als mittleres Brechungsverhältnifs 1,583 zu 1, für dasselbe an, also nicht sehr verschieden von dem für Kronglas geltenden; aber die Zerstreuung der Farben ist ungemein viel stärker. Nach einer von Körner mitgetheilten[3] Nachricht, die sich auf Ramsden's Erzählung gründet, war das vortreffliche Glas, dessen sich Dollond zu seinen berühmten, und noch jetzt so geschätzten Fernröhren bediente, nicht von dem gewöhnlichen, unter dem Namen Flintglas bekannten, weifsen Krystallglase, sondern er hatte sich jenes Glas von einer Glashütte im Norden Englands verschafft, wo ein Block von Flintglas vorhanden war, der durch Auslaufen aus dem Risse eines Tiegels entstanden war, und Jahre lang in der Gluth gelegen hatte, indem man ihn erst beim

---

1 Huber Observations sur le vol des oiseaux de proie. av. Fig. Genève. 1784. 4.

2 Vergl. Art. *Fernrohr*.

3 Kastner's Archiv. VII. 250.

Einreifsen des Ofens auffand [1]. Aus diesem Umstande ist es denn auch erklärlich, warum man nachher selbst in England, wo doch noch immer Flintglas verfertigt wurde und verfertigt wird, es so schwer fand, gute brauchbare Stücke zu finden, indem hiernach jene vorzüglich guten Stücke aus einer ganz anders behandelten Masse hervorgegangen waren. Die Schwierigkeit, brauchbare Gläser zu Fernröhren zu liefern, besteht nämlich nicht so sehr darin, dafs man eine das Licht stark zerstreuende Mischung finde, sondern in der, gerade bei dieser Glasart am meisten schwierigen Darstellung einer durchaus gleichartigen Masse; denn die geringste Ungleichartigkeit wird beim Gebrauche im Fernrohr durch ein streifiges Ansehen der Gegenstände merklich, indem die ungleiche Mischung eine nicht in allen Theilen der Masse gleiche Brechung derLichtstrahlen hervorbringt.

Die mannigfaltigen Bemühungen, diese Glasart nachzumachen, sind lange Zeit ohne genügenden Erfolg geblieben. Zeiher stützte seine Versuche auf die Entdeckung, dafs jene Glasart viel Bleikalk enthalte, und dafs diese Beimischung von Blei die Farbenzerstreuung in ungemeinem Mafse vermehre, während man durch stärkern Zusatz von Alkalien die mittlere Brechung vermindern könne; aber brauchbare Gläser scheint er gleichwohl nicht erhalten zu haben [2].

In Frankreich erhielt 1773 Lebaude einen Preis wegen guten Flintglases, und Allat verfertigte auf Büffon's Vorschlag Flintglas; aber nach Körner's Bemerkung sind die von ihnen angegebenen Verhältnisse der Bestandtheile nicht gerade tauglich, um vollkommenes Flintglas zu erhalten, und man war auch in Frankreich selbst nicht damit zufrieden, sondern setzte einen neuen Preis auf die Darstellung vollkommnern Flintglases. Dufougerais, dessen Flintglas Körner gerade zu schlecht nennt, erhielt von der Pariser Akademie ein sehr vortheilhaftes Zeugnifs über sein Flintglas; indefs ward es doch nur zu sehr kleinen Objectiven angewandt [3]. Glücklicher ist D'Artigues gewesen, der nicht so sehr dahin strebte, ein

---

1 Rochon's Nachricht, dafs Holles schon vor Dollond das Flintglas zu Fernröhren angewandt habe, scheint doch etwas zweifelhaft, da diese Fernröhre nirgend bekannt geworden sind. G. IV. 302.

2 Mém. de l'acad. de Berlin pour 1766 p. 150.

3 G. XXXIV. 250.

recht schweres Glas zu erhalten, sondern bei etwas minderer Farbenzerstreuung ein von ungleichen Streifen freieres Glas erhielt. Sein Flintglas war etwa 3,2 mal so schwer als Wasser; das beste erhielt er aus der Mitte des Tiegels, wo ein Klumpen herausgenommen, geblasen und auf die gewöhnliche Weisegestreckt wurde. Biot giebt in seinem Berichte darüber die Brechung im Verhältniſs zu der des franz. Kronglases wie 157 zu 151 an, das Verhältniſs der Zerstreuung wie 160 zu 100. Aus diesem Glase wurden gröſsere Objective verfertigt, die den Werth dieser Glasart wirklich zu beglaubigen scheinen [1]. Obgleich aber die von Cauchoix aus diesem Glase verfertigten Fernröhre ausgezeichnet gut gewesen seyn sollen, so hat man doch nicht gehört, daſs ähnliche aus diesem Glase verfertigten Fernröhre recht in Umlauf gekommen wären und sich vorzüglich beliebt gemacht hätten. Dieses ist dagegen in hohem Grade der Fall gewesen mit Fraunhofer's Fernröhren, zu denen dieser seit 1811 beide Glasarten selbst bereitete. Sein Verfahren dabei ist noch unbekannt, aber bekannt genug ist, daſs seine bis zu 9 Zoll Oeffnung verfertigten Objective unvergleichlich viel mehr leisten, als je vor ihm geleistet ist, und daſs er selbst 12zöllige zu liefern im Begriff war, als der Tod ihn zu früh den Wissenschaften entriſs.

Fraunhofer hat die Art, wie er sich von der Güte seines Glases überzeuge, bekannt gemacht, und bemerkt, daſs die Entdeckung der feinen Linien im Farbenbilde [2] ihn erst vollkommen belehrt habe, daſs gewöhnlich die Brechung noch verschieden sey, selbst wenn man mehrere Stücke aus derselben Glasscheibe nehme. Hierdurch belehrt stellte Fraunhofer so lange wiederholte Versuche an, bis es ihm gelang, eine solche Gleichförmigkeit der Masse zu erhalten, daſs aus einem Hafen mit 400 Pfund Flintglas, selbst zwei Stücke, deren eins vom Boden, das andere von der Oberfläche genommen ist, vollkommen gleiches Brechungsvermögen haben [3].

Fraunhofer giebt die Brechungsverhältnisse für verschiedene Puncte des Farbenspectrums auf folgende Weise an.

---

1 G. XXXVII. 365.

2 Vgl. Art. *Farbe*.

3 Fraunhofer über Bestimmung des Brechungsvermögens verschiedener Glasarten. S. 27. auch G. LVI. 307.

Die von ihm bemerkten Linien im Farbenspectrum gaben ihm ein Mittel ganz genau denselben Punct bei mehrern Versuchen zum Gegenstande seiner Beobachtung zu wählen und so waren B eine Linie im Roth, C eine zwischen Roth und Orange, D eine zwischen Orange und Gelb, E im Grün, F im Blau, G gegen den Uebergang des Indigblau in Violett hin, H im Violett schon ziemlich gegen die Grenzen des Bildes. Hier war nun bei einem mit No. 13. bezeichneten Flintglase und bei einem mit No. 9. bezeichneten Kronglase das Brechungsverhältnifs

für den Strahl B { 1,62775 / 1,52583;
für - - C { 1,62968 / 1,52685;
für - - D { 1,63504 / 1,52959;
für - - E { 1,64202 / 1,53300;
für - - F { 1,64826 / 1,53605;
für - - G { 1,66028 / 1,54166;
für - - H { 1,67106 / 1,54657.

Das Verhältnifs der Farbenzerstreuung im ersten Theile des Bildes ist demnach 1 zu 1,9, im letzten Theile 1 zu 2,2. Die Bestandtheile seines Flintglases und die Kunst der Bearbeitung hat Fraunhofer geheim gehalten; Körner hat die Bestandtheile zwar untersucht, aber sie aus Rücksicht auf die Wünsche des Erfinders nicht bekannt gemacht.

Körner selbst ist nun endlich noch als ein Künstler zu nennen, der mit vollkommen gutem Erfolge Flintglas verfertigt, und sich durch Bemerkungen über das Verfahren bei der Verfertigung ein eigenthümliches Verdienst erworben hat [1]. Er fand das specifische Gewicht des englischen Flintglases erster Sorte = 3,373, zweiter Sorte = 3,4416; des Glases von d'Artigues = 3,1576; des Glases von Fraunhofer = 3,7786; des Glases von Körner's eigener Arbeit = 3,341. Er verfertigt dieses aus 100 Theilen eines vorher mit Salzsäure behandelten

1 Kastner's Archiv VII. 233.

Quarzes, 80 Theilen Mennig und 30 Th. Weinsteinsalz. Sein Glas war in so grofser Hitze bereitet, dafs der Ofen zu schmelzen anfing; es war völlig wasserhell und klar, ohne alle Streifen. Körner bemerkt, dafs es zum Darstellen eines guten Krystallglases eines hellen, nicht rauchenden Feuers bedürfe, und dafs man daher Holz anwenden müsse. Die Engländer schmelzen es bei Steinkohlenfeuer in fast ganz geschlossenen Gefäfsen, aber da alsdann die Hitze nicht grofs genug ist, so kommt die Masse nicht zu hinreichend genauer Mischung und darin liegt schon ein Grund der Streifen in den Gläsern. d'Artigues vermied diesen Nachtheil, indem er Holz als Brennmaterial anwandte, und bei offenem Hafen die Oberfläche des Hafens der Flamme aussetzte; dadurch wird der dünnere Flufs des Glases bewirkt und ein vollkommenes Glas geliefert. Körner bemerkt auch, dafs das Umschmelzen eines nicht von Streifen freien Glases nicht zu empfehlen sey, weil es doch wieder auf die starke Hitze ankommme, und bei dieser sich im Umschmelzen leicht Blasen erzeugen. Dafs auch die Art, wie die Tafeln geblasen werden, zu Streifen Veranlassung gebe, läfst sich wohl einsehen. Wenn nämlich der ungeschickte Arbeiter die Pfeife eintaucht, sie dann um ihre Axe dreht, damit sich mehr Glasmasse anhänge, so verbindet sich der äufsere, immer schon etwas abgekühlte Theil der Masse nie ganz vollkommen mit der neu aufgewickelten, und man erkennt die Windungen an den sich in der Glasmasse zeigenden Streifen; bei dem wiederholten Eintauchen, um die Masse durch Blasen weiter zu Tafeln auszubilden, wird der Nachtheil, den die ungleichen Lagen hervorbringen, noch verstärkt. Bei mehr Geschicklichkeit des Arbeiters werden die Lagen mehr Parallelität erlangen, und die Nachtheile vermindert. Die Streifen sind auch dann unvermeidlich, wenn die Masse nicht ganz lauter geschmolzen ist, und noch feine Bläschen vorhanden sind, diese mögen nun von Kohlensäure oder von in Dampf aufgelösten Salzen herrühren; und selbst wenn die Bläschen ausgetrieben sind, so erfordert es (nach Körner) noch einige Zeit, bis die, ungleiche Brechung zeigenden, Streifchen, die gleich Schwänzen den Bläschen anhängen, sich ganz verloren haben.

Aus Körner's handschriftlicher Mittheilung füge ich noch folgendes hinzu. Es ist diesem Künstler durch Unterstützung des Grofsherzogs und wiederholte mit ausdauerndem Fleifse

ausgeführten Versuche geglückt, ein vollkommen gutes Flintglas besser als das englische ued französische zu erhalten, welches vielleicht nur durch das Fraunhofer'sche übertroffen werden könnte [1]. Er hat es in Quantitäten von 400 Pfunden dargestellt. Er fand den Brechungsexponenten für die mittlern Strahlen im Kronglase $= 1{,}5190611$
in der einen Sorte Flintglas $= 1{,}6112927$
in der zweiten Sorte Flintglas $= 1{,}634888$.
Zerstreuungsmafs oder $\frac{dm'}{dm}$ mit der ersten

$= 1{,}879886$
mit der zweiten $= 2{,}147241$.

Er berichtet ferner, dafs die nach eigener Berechnung angeordneten Fernröhre (wobei die unvermeidlichen praktischen Fehler berichtigt werden) sehr gute Wirkung thun. Eine Probe dieses Glases, welches der Verfertiger mir zur Ansicht mitgetheilt hat, ist in der That, dem äufsern Ansehen nach, sehr vorzüglich; es scheint ganz gleichförmig, ist sehr durchsichtig und läfst keine Spur von Streifen und Bläschen wahrnehmen; — die eigentliche Entscheidung über die Vollkommenheit des Glases kann man sich jedoch nicht anmafsen, so lange man nicht daraus geschliffene gröfsere Objective gesehen hat.

B.

Flüssigkeit.

Fluidität, Liquidität, Flüssiges, Liquides; *Fluidum, liquidum, fluiditas, liquiditas;* Fluide, liquide, fluidité, liquidité, *Fluid, liquid, fluidity, liquidity.*

Das Wort *Flüssigkeit* hat eine doppelte, in andern Sprachen durch eigenthümliche Benennungen unterschiedene, Bedeutung, indem es sowohl die Körper selbst als auch ihren physischen Zustand bezeichnet. In beiden Beziehungen hat es dann wiederum eine doppelte Bedeutung, indem die Flüssigkeiten entweder *tropfbar* oder *expansibel* (elastisch) sind, und der Zustand derselben entweder ein *tropfbarer* oder *gasförmiger*

1 Körner's eigene Worte.

ist[1]. Andere Sprachen unterscheiden dieses, indem *fluidum*; fluide; *fluid* einen flüssigen Körper überhaupt bezeichnet, *liquidum*; liquide; *liquid*[2] aber nur einen solchen, welcher Tropfen bildet. Dem deutschen Ausdrucke gemäſs könnte daher hier zuerst eine Untersuchung der verschiedenen sowohl tropfbaren als auch elastischen Flüssigkeiten angestellt werden, und alsdann eine genauere Bestimmung des Wesens desjenigen Zustandes, welchen wir durch die Bezeichnung eines tropfbar und elastisch Flüssigen andeuten wollen, nebst der physischen Ursache desselben nachfolgen. Weil indeſs eine Aufzählung der gesammten flüssigen Körper unnütz seyn würde, indem die wichtigsten ohnehin anderweitig betrachtet werden, so genügt es hinlänglich, nur den zweiten Theil der Aufgabe zu erledigen. Aber auch hierbei ist zu berücksichtigen, daſs der Zustand der *elastischen Flüssigkeit* oder der *Expansion* zwei Arten von Körpern zukommt, nämlich den Gasarten und den Dämpfen, und indem die letzteren schon untersucht sind[3], die Gase aber für sich behandelt zu werden verdienen[4], so bleiben für diesen Ort nur die sogenannten *tropfbaren Flüssigkeiten* übrig, von denen daher hier ausschlieſslich die Rede seyn wird.

A. Flüssigkeits-Zustand.

Das eigentliche Wesen des Flüssigkeitszustandes besteht darin, daſs die flüssigen Körper Tropfen bilden, weswegen auch die Bezeichnung von *tropfbar-flüssig* eine sehr angemessene ist. Die Bildung der Tropfen setzt voraus, daſs die kleinsten Bestandtheile der Flüssigkeiten Adhäsion an einander

---

1 Hube's Tadel der Eintheilung der Flüssigkeiten in tropfbare und luftförmige (jetzt gasförmige oder expansible), S. vollständ. und faſsl. Unterricht in der Naturlehre Leipzig 1793. I. S. XIII. ist durchaus unbegründet, indem beiden weder der unterscheidende Charakter des Flüssigseyn's noch der einen die Fähigkeit der Tropfenbildung, der andern das Bestreben nach Expansion abzusprechen ist, weswegen auch die andern Sprachen diesen Unterschied bezeichnen, und er in der deutschen Sprache gleichfalls durch die minder gebräuchlichen Ausdrücke Fluidität und Liquidität angegeben wird.

2 Richtig wird diese Bedeutung bezeichnet durch Young Lectures I. 259; falsch dagegen durch Hutton Dict. I. 742.

3 S. Art. *Dampf*.

4 S. Art. *Gas*.

haben, und dennoch nach einer ihnen eigenthümlichen individuellen Beschaffenheit ohne einen meſsbaren Widerstand über einander hingleiten, oder wie man dieses nach der Corpusculartheorie ausdrücken kann, keine Anziehung in bestimmten Richtungen der Axen dieser Bestandtheile, sondern eine nach allen Seiten gleichartige gegen einander äuſsern [1]. Wenn man also nicht selten den Flüssigkeitszustand dadurch zu bezeichnen pflegte, daſs die kleinsten Theile derselben sich ohne Mühe trennen lieſsen [2], so ist dieses nicht ganz richtig; denn wenn eine Adhäsionsplatte mit der Fläche einer Flüssigkeit in Berührung gebracht und durch eine gegebene Kraft von derselben völlig benetzt abgehoben wird, so haben sich hierbei unläugbar die Theile der Flüssigkeit nicht ohne meſsbaren Widerstand getrennt, und die zum Trennen erforderliche Kraft ist soviel gröſser, je weniger die Flüssigkeit eine tropfenähnliche Gestalt annehmen kann, also je dünner die Schicht derselben zwischen zwei flachen Scheiben ist. Die Theilchen einer Flüssigkeit lassen sich also nicht ohne meſsbare Kraft von einander trennen, allein sie gleiten ohne merklichen Widerstand über einander hin [3], weswegen keine Reibung bei ihrer Bewegung auf und in einander, ihrem Hinflieſsen auf festen Körpern und dem Hingleiten fester Körper auf oder in ihnen in Rechnung kommt. Daſs ein Hinderniſs ihrer Bewegung aus der Adhäsion entstehe, zeigt sich allerdings hauptsächlich bei ihrer Strömung in Canälen und ihrem Ausflusse aus verschiedenen Oeffnungen und

---

1 Vergl. Th. Young Lectures I. 259. J. Leslie Elements of Nat. Phil. I. 257.

2 Diese Bezeichnung bezog sich auf die Flüssigkeiten im Allgemeinen, daher zugleich auch und vorzüglich auf die gasförmigen. Das eigentliche Wesen des Flüssigkeitszustandes ist aber das Flieſsen, d. h. die leichte, durch Reibung nicht gehinderte, Beweglichkeit der Theile über einander. Bei der zuletzt erwähnten Definition, die man sehr häufig und fast allgemein in den physikalischen Werken findet, liegt Newton's Autorität zum Grunde, welcher aber Princ. L. II. Sect. V. Def. I. T. II. p. 106. ed. Tessanek sehr richtig sagt: Fluidum est corpus omne, cujus partes cedunt vi cuique illatae, et cedendo facile moventur inter se. Vergl. d'Alembert Traité d'équilibre et du mouvement des Fluides. §. 2. J. H. van Swinden Positiones phys. II. 2. u. v. a. Link über Naturphilosophie. Leipzig, 1806. S. 173. daraus bei G. XXV. 133. XLVII. 2.

3 Vergl. Parrot Grundriſs der theor. Physik. I. 45.

Röhren [1]. Aus der leichten Verschiebbarkeit der einzelnen Theilchen oder dem widerstandlosen Hingleiten derselben über einander folgt dann ihre Neigung zur Tropfenbildung von selbst [2], und es lassen sich darauf zugleich diejenigen Erscheinungen zurückführen oder an dieselbe mindestens anknüpfen, deren Gesetze in der Hydrostatik und Hydraulik näher untersucht werden [3], und hier deswegen unerörtert bleiben.

Der Zustand der Flüssigkeit ist ein *relativer* und grenzt ohne völlig scharfen Unterschied an den der *Starrheit*. So kann die Naphtha flüssiger genannt werden als Wasser, minder flüssig als letzteres ist Oel, noch weniger Syrup, geschmolzenes Pech und verweichtes Wachs, welche beide letztere so nahe an Starrheit grenzen, daſs der Unterschied schwer anzugeben ist. Inzwischen unterliegt die Bestimmung, ob ein Körper flüssig zu nennen sey oder nicht, keiner Schwierigkeit, indem ihm dieses Prädicat so lange zukommt, als sich Tropfen aus ihm bilden. So wird man Wachs, Pech, Siegellack, Glas u. dgl. bloſs erweicht nennen, wenn sie biegsam sind, und einem äuſseren Drucke nachgeben, flüssig aber heiſsen sie, wenn Tropfen von ihnen herabflieſsen, obgleich diese oft bei unvollkommener Flüssigkeit und vorwaltender Zähigkeit der Körper keine runde, sondern eine länglichte, birnförmige, Gestalt annehmen, wie namentlich bei den Glastropfen oder Glasthränen beobachtet wird.

Wenn man die Fähigkeit, Tropfen zu bilden, als charakteristisches Kennzeichen einer Flüssigkeit ansieht, so unterscheiden sich diese Körper sehr wesentlich von solchen, deren Bestandtheile sich leicht trennen lassen, und welche eben daher einige Eigenschaften mit jenen gemein haben, namentlich daſs sie die Form der Gefäſse annehmen, worin sie sich befinden, so daſs man sie deswegen auch halbflüssig genannt hat, als lockere Erde, trockener Sand, Staub, Mehl und alle fein pulverisirte Körper. Genau genommen kann man aber solchen Substanzen die wesentlichen Eigenschaften der starren Körper, nämlich geringere Adhäsion und merklichere Reibung an einander nicht absprechen, nur sind ihre Theilchen zu klein, als

1 Vergl. *Hydraulik.*

2 Vergl. *Tropfen.*

3 Vergl. *Hydrostatik* und *Hydraulik.*

dafs man jene messen könnte, indem sie erst bei zunehmender Gröfse auffallender werden. So sind sie bei Kieselpulver ganz unmerklich, sichtbarer bei feinem Quarzsande, und grober Sand oder Kies erscheint schon in den einzelnen Theilchen als aus starren Körpern bestehend. Deswegen werden die aus mehrern getrennten Theilen bestehenden Massen um so weniger beim Ausschütten eine ebene Oberfläche bilden, je gröfser ihre Bestandtheile sind, weil hiermit zugleich die Reibung derselben an einander wächst, vollkommen eben ist die Oberfläche aber nur bei den Flüssigkeiten, deren Bestandtheile gar keine mefsbare Reibung an einander zeigen[1].

Als blofse Thatsache ist hinlänglich bekannt und bedarf nur einer allgemeinen Erwähnung, dafs der Zustand des tropfbar Flüssigseyn's zwischen der Starrheit und der Gasform in der Mitte liegt, und hauptsächlich durch die Wärme desgleichen durch äufseren mechanischen Druck bedingt wird. Rücksichtlich der Ersteren werden die meisten Körper durch Vermehrung der Wärme flüssig, und man darf der Analogie nach schliefsen, dafs es einen Grad der Hitze giebt, bei welcher kein Körper den Zustand der Starrheit beibehalten würde [2]. In Beziehung auf Dämpfe und Gasarten ist schon gezeigt[3], dafs selbst bei den höchsten Temperaturen der Wasserdampf durch hinreichende Compression in tropfbar flüssiges Wasser verwandelt werden kann, und dafs dieses bei niedrigeren Wärmegraden noch leichter geschehen könne, ja alsobald erfolge, wenn man die Compression über seine Elasticität erhöhet, ist an sich klar. Dahin gehören dann auch die schon erwähnten Versuche von Cagniard de la Four[4], welche indefs noch eine Wiederholung und genaue Prüfung erfordern. Von den Gasarten ist es noch nicht mit Gewifsheit ausgemacht, ob einige bisher dem Einflusse des Erkaltens und des mechanischen Druckes völlig widerstanden haben, allein da schon verschiedene derselben tropfbar flüssig gemacht sind, so hat man auf allen Fall Grund zu vermuthen, dafs unter geeigneten Bedingungen sie sämmt-

---

1 Vergl. Lambert in Mém. de Berlin. 1772. 33.

2 Die Angabe der Temperaturen, bei denen die bekannten Körper flüssig werden s. im Art. *Schmelzen*.

3 S. Th. II. S. 296. Vergl. 411.

4 S. Th. II. S. 280.

lich diese Veränderung erleiden würden[1]. Aufserdem behauptet auch PERKINS[2], dafs es ihm gelungen sey, durch sehr starken mechanischen Druck verschiedene tropfbare Flüssigkeiten zur Krystallisation zu bringen; es ist jedoch nicht angegeben weder welche Flüssigkeiten noch unter welchen Nebenbedingungen, und die Sache mufs daher erst durch die Erfahrung noch weiter bestätigt werden, ehe man mit Sicherheit ein physikalisches Gesetz darauf bauen kann.

Als eine sehr beachtenswerthe Eigenschaft der Flüssigkeiten mufs hier endlich noch erwähnt werden, dafs sie die Fähigkeit haben, gewisse andere feste, flüssige und gasförmige Körper in sich aufzunehmen, ohne dafs ihr Volumen der Summe der beiden vereinigten gleich werde. Dafs ihr Volumen durch jede auflösbare Menge mit ihren vereinigten Körpern gar nicht vermehrt werden sollte, wie unter andern HUTTON[3] behauptet, ist an sich nicht wahrscheinlich, und streitet gegen die Erfahrung, indem sonst die Zunahmen des spec. Gewichts derselben den Procenten der aufgelöseten Substanzen direct proportional seyn müfsten. Werden z. B. 15 p. C. Kochsalz vom Wasser gelöset, so müfste das specifische Gewicht der Mischung $=1,15$ seyn, anstatt dafs es um $=1,11$ gefunden wird[4], und gäben Mischungen von Weingeist und Wasser keine Vermehrung des Volumens, so würde das spec. Gew. von gleichen Massen derselben $=1,791$ seyn, da keine Verbindung beider $=1$ wird.

SCHLÖNBACH[5] nimmt rücksichtlich der Salzsolutionen und der Mischungen von Alkohol und Wasser an, dafs das Salz oder der Alkohol nicht in die Zwischenräume des Wassers aufgenommen werden, sondern ihre Volumina, wie aufser dem Wasser, beibehalten, dafs aber das Wasser sich um einen aliquoten Theil zusammenziehe, eine allerdings nicht verwerfliche Vorstellung. Hiernach bestimmt er den geometrischen Ausdruck für die Zusammenziehung des Wassers $=Z$, welcher bei Salzlösungen $Z=0,2\,n\,W$ und für Mischungen von Weingeist und Wasser $Z=0,15134\,n'\,W$ ist, wenn W das Volumen oder

---

1 Vergl. Art. *Gas*.
2 Ann. of Phil. VI. 66.
3 Dict. I. p. 523.
4 S. BISCHOF bei G. XXXV. 372.
5 G. XI. 175.

die Menge des Wassers, n und n' aber die Menge des trocknen Salzes und des absoluten Alkohol's bezeichnet. Eine Vermehrung des Volumens der Flüssigkeiten findet endlich auch dann statt, wenn sie Gasarten, insbesondere in grofser Quantität absorbiren [1].

Auffallend ist es übrigens, dafs z. B. Wasser eine gewisse Quantität Salz, dann noch eine kleine Menge Zucker und noch etwas Alaun auflösen kann, mit steter Zunahme seines spec. Gewichtes [2], so dafs also, wenn auch das Volumen etwas vergröfsert wird, diese Vermehrung dennoch der Masse des hinzukommenden Körpers nicht proportional seyn kann. Uebrigens läfst sich diese Eigenschaft der Flüssigkeiten als eine mehr allgemeine betrachten, indem auch feste Körper sowohl tropfbar- als auch elastisch-flüssige Körper in sich aufnehmen, ohne eine der aufgenommenen Masse proportionale Vergröfserung des Volumens, welches sich indefs leicht aus einer Aufnahme in den Poren der festen Körper erklären läfst. Endlich vereinigen sich auch feste Körper, namentlich Metalle, mit einander unter Verminderung des Volumens, weswegen das Quantitative der einzelnen Bestandtheile solcher Verbindungen, z. B. des Zinnbleies, aus dem spec. Gewichte nicht genau gefunden werden kann. Dafs diese Vereinigungen übrigens einen statt gefundenen Flüssigkeitszustand als nothwendige Bedingung fordert, darf als allgemein bekannt vorausgesetzt werden.

Es ist ferner bekannt, dafs der Flüssigkeitszustand der meisten Körper auf dem Einflusse der Wärme beruhet, und da der Charakter desselben in der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen besteht, so mufste nothwendig die Frage auffallen, ob und nach welchem Gesetze der Flüssigkeiten, ohne noch im mindesten fest oder zähe zu seyn, durch Vermehrung der Wärme noch mehr flüssig würden. Gerstner hat hierüber eigends eine Reihe von Versuchen angestellt, indem er Wasser aus einem blechenen Gefäfse durch ein horizontales Röhrchen fliefsen liefs, und bei gleichem Drucke die in gleichen Zeiten ausgeflossenen Quantitäten mafs [3]. Aus den erhaltenen Resultaten

---

1 S. *Absorption.* Th. I. S. 63.

2 Hutton a. a. O.

3 Neuere Abh. der Kön. Böhmischen Gesellsch. der Wissenschaften. Prag 1798, III. 141. daraus bei G. V. 160.

folgt, dafs die Wärme das Wasser bedeutend flüssiger macht, und zwar ist der Einflufs derselben gröfser bei kleinerem Durchmesser der Röhren und geringerer Geschwindigkeit der Bewegung, am gröfsten ist er in der Nähe des Gefrierpunctes. Zu einem bestimmten allgemeinen Gesetze haben indefs seine Versuche nicht geführt. Uebrigens hängt diese Erscheinung damit zusammen, dafs die Adhäsion der Flüssigkeiten an feste Körper mit zunehmender Temperatur abnimmt, worüber gleichfalls noch kein allgemeines Gesetz aufgefunden ist[1].

B Ursachen der Flüssigkeit.

Der Zustand der Flüssigkeit ist nicht im Wesen der Körper gegründet, so dafs er gewissen Substanzen ausschliefslich zukäme, vielmehr sind, mit Ausnahme des absoluten Alkohol's und des Schwefelkohlenstoffes, alle tropfbare Flüssigkeiten bereits in feste Körper verwandelt, und bei weitem die gröfste Menge der bei gewöhnlicher Temperatur festen Substanzen wird durch hinlängliche Wärme flüssig. Kürzlich hat Brayley[2] zu beweisen gesucht, dafs es eigentlich nur zwei Zustände der Körper gebe, nämlich der Festigkeit und der Expansion, zwischen denen das Flüssigseyn nur als Uebergangsform liege. Als Gründe hierfür erscheinen ihm die bekannten Thatsachen, dafs kein scharfer Unterschied zwischen Gasarten und Dämpfen statt finde, letztere aber nur der erhöheten Temperatur und dem Mangel an Druck ihre Expansion verdanken, wonach also die Flüssigkeiten nur als comprimirte Dämpfe anzusehen wären; ferner dafs auch diejenigen Substanzen, welche aus dem Zustande der Festigkeit sogleich in den der Expansion übergehen, nur unmefsbar kurze Zeit und unmerkbar im Zustande der Flüssigkeit verweilen. Letzteres zu beweisen wäre eigentlich überflüssig, da es mehr für seine Behauptung spräche, wenn recht viele Substanzen sich blofs fest und gasförmig zeigten, allein es kommt ihm darauf an zu zeigen, dafs zwischen dem Festwerden gasförmiger Körper allezeit der Flüssigkeitszustand liege. Ohne auf alles Einzelne einzugehen, was für diese Meinung gesagt wird, erwähnt Brayley auch das Festwerden einer Verbindung aus Ammoniakgas und Kohlensäure, und

---

1 Vergl. *Adhäsion.*

2 Ann. of Phil. N. S. LXIX. 192.

sucht dieses nach seiner Ansicht zu erklären; weniger gründlich wird die merkwürdige Erscheinung erläutert, dafs der Schwefel erst vollkommen flüssig wird, bei gröfserer Hitze wieder erstarret und nach einem abermaligen Uebergange zur Flüssigkeit sich verflüchtigt und abgekühlt als Schwefelblumen in Pulverform erscheint. Dasjenige Argument, welches er als seiner Ansicht widersprechend anführt, nämlich dafs sowohl Eis als auch Schnee bedeutend verdunsten, ist weniger gewichtig, als es von ihm angeschlagen wird, indem gerade bei Wasser der Uebergang von Dampf in Dunst und tropfbare Flüssigkeit so leicht geschieht, und es noch fraglich ist, ob aus dem Eise und Schnee eigentlicher Dampf oder nur Dunst gebildet wird, da nach meinen Beobachtungen[1] die vom Eise bei — 18°,5 C. losgerissenen Theilchen sich als feiner Dunst an einer kälteren Wandung anlegten, und dann erst zu Eiskrystallen gefroren. Endlich führt Brayley auch Oersted's Aeufserung zum Beweise seiner Ansicht an, wonach die Compression tropfbarer Flüssigkeiten und selbst fester Körper nach gleichen Gesetzen geschehen soll, als die der Gasarten, welches indefs noch keineswegs entschieden ist, und wenn dieses auch wäre, so würde der Zusatz Oersted's, „dafs die Zusammenpressung eines Körpers nur allein in den Uebergangsmomenten aus einem Aggregatzustande in den andern aufhöre, sich nach jenem Gesetze zu regeln,“ beweisen, dafs dieser Physiker einen dreifachen Aggregatzustand der Körper annimmt, welcher durch eine Modification der Gesetze seines Verhaltens beim Uebergange aus dem einen in den andern sich als ein besonderer zeigt. Will man indefs gerade die hier gewählten Substanzen als Beispiel benutzen, und die Compression des Wasserdampfes mit der des Wassers vergleichen, so ist die Elasticität mit der Temperatur wachsend und beim Nullpuncte unmerklich, was bei letzterem keineswegs statt findet. Wollte man übrigens auch annehmen, das Verhalten der Körper gegen mechanische Zusammendrückung sey bei jedem Aggregatzustande in sofern gleich, dafs, wie bei der Luft, die Dichtigkeit von einem gewissen Puncte derselben ausgehend der zusammendrückenden Kraft proportional wüchse, welches übrigens noch keineswegs erwiesen und im Allgemeinen nicht einmal wahrscheinlich ist,

---

1 S. *Verdunstung*.

so würde dennoch der Zustand der tropfbaren Flüssigkeit schon deswegen als ein eigenthümlicher anzunehmen seyn, weil die zur Vermehrung der Dichtigkeit erforderlichen Druckkräfte nach dem Uebergange aus dem Zustande der Expansion in den tropfbar-flüssigen bei sehr vielen oder allen expansibelen Flüssigkeiten sich bedeutend ändern. Unter andern wird Chlorgas durch den Druck weniger Atmosphären tropfbar-flüssig, und wächst somit um ein Vielfaches seiner Dichtigkeit, würde aber zufolge der Analogie aller tropfbaren Flüssigkeiten nach dieser Veränderung seines Aggregatzustandes einen Druck von vielen Tausenden von Atmosphären erfordern, um dann nur die doppelte Dichtigkeit zu erlangen. Nach allem diesen und überhaupt in Gemäſsheit der gesammten Erscheinungen müssen wir den Flüssigkeitszustand eben sowohl für einen eigenthümlichen Aggregatzustand halten, als die beiden übrigen.

Ungleich schwieriger, als diese Entscheidung, ist die Beantwortung der Frage, was wohl die physische Ursache des Flüssigkeitszustandes der Körper seyn möge. Nach Gassendi und seinen Anhängern wird erfordert, daſs die Atome eines flüssigen Körpers rund, völlig glatt, sehr klein und überall mit Zwischenräumen umgeben sind. Cartesius dagegen setzte die Bedingung des Flüssigseyns in eine stete Bewegung der Elemente eines Körpers, anstatt daſs aus der Ruhe derselben die Festigkeit folgen sollte. Als Beweis hierfür diente eben der Hauptcharakter flüssiger Körper, deren Theilchen sich ohne merklichen Widerstand über einander hinbewegen lassen, weil sie an sich schon in Bewegung seyen, und daher jedem Inpulse sogleich nachgäben. Einen zweiten Beweis seines Satzes fand er in der auflösenden Kraft der Flüssigkeiten, deren Theilchen nicht ohne Bewegung in die aufzulösenden Substanzen dringen könnten, was aber namentlich bei Säuren mit einer groſsen Kraft und dem Vermögen geschehe, die festesten Körper zu trennen. Endlich könnten feste Körper nicht anders flüssig werden, als durch den Zutritt irgend einer aus stets bewegten Theilchen bestehenden Substanz z. B. des Feuers, der Luft, des Wassers u. a. m. Nach der Ansicht der Cartesianer ist dann die Luft die eigentliche bedingende Ursache der Flüssigkeit, und theilt die Bewegung dem Feuer und Wasser mit, eine Behauptung, welche aus einer mangelhaften Kenntniſs der Dämpfe entstanden zu seyn scheint; die Luft aber erhält ihre Beweglichkeit durch

den Aether, welcher überhaupt die erste Bedingung aller Bewegung ist[1].

Anhänger dieser Cartesischen Ansicht waren Hooke und insbesondere R. Boyle[2], welcher die innere Bewegung der kleinsten Theile flüssiger Körper sogar durch Versuche anschaulich machen wollte. Zu diesem Ende erhitzte er sehr fein pulverisirten Gyps in einem Gefäſse, und beobachtete dann an demselben eine ähnliche wallende Bewegung, als siedende Flüssigkeiten zu zeigen pflegen. Wenn er mit einem Stabe darin rührte, so entstand eine wellenartige Bewegung, ja die scheinbaren Wellen schlugen selbst nach Art einer Brandung gegen die Wände des Gefäſses. Lockerer Sand zeigt ähnliche Aeuſserungen flüssiger Körper, wenn er in einem Gefäſse erschüttert wird, d. h. nach Cartesischer Ansicht, wenn seine Theile Bewegung erhalten; namentlich wird dann ein schwererer Körper in ihm niedersinken, ein leichterer aufsteigen. Inzwischen bedarf diese Hypothese jetzt keiner Widerlegung mehr, und ist in gewisser Hinsicht schon durch Musschenbroek[3] genügend widerlegt, indem er zeigt, daſs die Theile des stark zusammengepreſsten Wassers doch unmöglich in steter Bewegung seyn können.

Boerhave folgt ohne Zweifel dem bloſsen Ergebnisse der Erfahrung, wenn er das Feuer oder die Wärme als eigentliche Ursache der Flüssigkeit angiebt, jedoch ist darunter das Elementarfeuer oder der Wärmestoff zu verstehen, denn dieses giebt auch den Gasarten den Flüssigkeitszustand. Dr. Black ist gleicher Meinung, und setzt noch hinzu, daſs der verschiedene Grad der Hitze, welche erfordert wird, um diesen Zustand bei den leichtflüssigen und strengflüssigen Körpern hervorzubringen, durch Besonderheiten der Mischung und Zusammensetzung derselben bedingt sey. Als Beweisgrund für diese Behauptung dient ihm vorzüglich die Erfahrung, daſs im Allgemeinen alle Mischungen bei geringeren Graden der Hitze flüssig werden, als die einzelnen Bestandtheile. Newton hat

1 Vergl. Hutton Dict. Art. Fluidity und die nachfolgende Schrift.

2 Fluiditatis et firmitatis Historia. S. Works. Lond. 1665. V Vol. fol. I. 240.

3 Die ausführliche Prüfung der Gründe und Gegengründe findet ich in dessen Introd. II. p. 483.

sich über das Wesen des tropfbar-flüssigen Zustandes nicht eigentlich erklärt, denn was er als Hypothese zur Erklärung des Flüssigkeitszustandes im Allgemeinen sagt, bezieht sich offenbar auf die Gasform. Dagegen bemerkt s'Gravesande[1] sehr scharfsinnig, die Frage, ob der Flüssigkeitszustand allgemein von der Wärme abhänge, könne deswegen nicht genügend beantwortet werden, weil wir den absoluten Nullpunct, und man darf hinzusetzen, das Verhalten der Körper bei demselben, nicht kennen. Gewiſs sey dagegen, daſs nicht bloſs verschiedene im gewöhnlichen Zustande feste Körper, als Metalle, Wachs u. s. w. durch Wärme flüssig würden, sondern daſs auch mehrere, unter den gewöhnlichen Bedingungen flüssige, diesen ihren Zustand der Wärme verdankten; wie denn namentlich das Wasser als geschmolzenes Eis zu betrachten sey. Musschenbroek[2] bestreitet diese Ansicht zum Theil deswegen, weil nach der Hypothese der Cartesianer das Feuer für das ursprünglich Bewegende der Flüssigkeiten galt, und er dieses anzunehmen nicht geneigt ist, zugleich führt er aber als Gegenbeweis an, daſs nach Moses die Flüssigkeiten schon vor dem Feuer erschaffen wären. Vielmehr scheint ihm das Wesen der Flüssigkeit in einer auſserordentlichen Feinheit der Bestandtheilchen zu bestehen, und er zeigt hiernach nicht bloſs, daſs die sogenannten halbflüssigen Körper, als feiner Sand, Pulver u. dgl. bei genauer Betrachtung doch immer noch in ihren einzelnen Theilen kenntlich seyen und sich als Pulver, nicht als Flüssigkeiten darstellten, sondern daſs auch die Wärme bloſs durch Verkleinerung der Elemente den Flüssigkeitszustand erzeuge und aus einem unvollkommenern in einen mehr vollkommenen verwandle. Dieses Letztere bezieht sich indeſs nicht auf die oben erörterte interessante Untersuchung, nach welchem Gesetze die Flüssigkeit tropfbar-flüssiger Körper mit der Temperaturerhöhung wächst, sondern auf einige das Wesen der Sache nicht eigentlich berührende Erscheinungen, nämlich daſs z. B. Eierweis durch Wärme des Brütens dünnflüssiger wird, daſs sich aus jungem dickflüssigem Weine durch Destillation Spiritus erhalten läſst, aus Harzen ein flüchtiges Oel u. s. w.

Es scheint mir überflüssig, alle Meinungen älterer Physiker

---

1 Physices Elem. math. II. p. 662.

2 Introd. II. 485.

über die eigentliche Ursache des tropfbar-flüssigen Zustandes der Körper auch nur historisch zu erwähnen, und es möge daher nur noch FONTANA's Erklärung desselben hier Platz finden[1]. Nach seiner Ansicht, wenn man sie kurz darstellt, sind in allen Körpern zwei Kräfte thätig, zuerst die Anziehung, in Folge deren alle Körper fest seyn würden, wenn sie allein wirksam wäre, und es muſs daher noch eine zweite vorhanden seyn, welche verhindert, daſs tropfbare Flüssigkeiten durch mechanische Gewalt zusammengedrückt nicht fest werden. Diese ausdehnende Kraft scheint ihm die Wärme zu seyn, welche daher auch feste Körper tropfbar flüssig macht, jedoch ist es nicht die Wärme allein, welche der Zusammendrückung widersteht, sondern vielmehr die individuelle Lage der Bestandtheile tropfbarer Flüssigkeiten und die hieraus folgende gröſsere Menge von Berührungspuncten kann der zusammendrückenden Gewalt Widerstand leisten. Daſs FONTANA hiernach den Atomen eine verschiedene Form und absolute Härte beilegen müsse, folgt wohl nothwendig aus dieser Hypothese. Vermehrung der Wärme, als des ausdehnenden Principes, bewirkt dann eine Vergröſserung des Volumens der Körper im Allgemeinen, und erzeugt bei gröſserer Steigerung die Dämpfe, welche eben deswegen durch bloſse Entziehung dieses ausdehnenden Principes wieder in den tropfbar flüssigen und festen Zustand zurückkehren. Weil aber die Luft einer solchen Veränderung nicht unterworfen ist, so reicht das ausdehnende Princip der Wärme bei ihr nicht hin, sondern das *Phlogiston* ist bei ihr die Ursache der Expansion. Die Gründe, worauf diese letztere Hypothese beruhet, verdienen jetzt keine Erwähnung mehr, da die Nichtexistenz des Phlogiston's gegenwärtig hinlänglich erwiesen ist, und überhaupt sind seitdem so viele neue Thatsachen bekannt geworden, daſs der Standpunct der ganzen Aufgabe dadurch als wesentlich verändert angesehen werden muſs.

Insbesondere hat H. F. LINK[2] das Wesen des Zustandes der Festigkeit und des tropfbar Flüssigseyns zu bestimmen ge-

---

1 S. Opuscules physiques et chymiques. Par. 1785. Im Auszuge in Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte. Leipz. 1787. 8. III. 722.

2 Zuerst in seinem bekannten Werke: Ueber Naturphilosophie. Leipz. 1806. S. 175; dann in G. XLVII. 1 ff. endlich in Poggendorff's Ann. VIII. 25; 151 u. 283.

sucht. Nach ihm ist der negative, gestaltlose, gleichförmige Zustand der Flüssigkeit der ursprüngliche, der der Festigkeit aber der abgeleitete; das Wesen der Flüssigkeit aber wird gegeben, wenn die Wirkungen der anziehenden und abstoſsenden Kräfte unter der Oberfläche überall einander aufheben, so daſs sich jedes Theilchen zwischen den übrigen frei bewegt. Bei dieser Darstellung liegt auffallend die Annahme der beiden Kantischen Urkräfte zum Grunde, und sie ist anschaulicher, als wenn später die bloſse Ungleichheit der Anziehungskräfte angenommen wird. Hiernach heiſst es [1]: „Zur Flüssigkeit wird völlige Gleichheit der Anziehungen erfordert, wechselseitiges Aufheben derselben nach allen Seiten;“ und an einer andern Stelle: „Die Verschiebbarkeit rührt von den gleichen Anziehungen innerhalb der flüssigen Masse her, eine Ungleichheit dieser Anziehungen macht weniger verschiebbare Theilchen, geringere Flüssigkeit.“ Nimmt man aber diese Ausdrücke in der gemeinen Bedeutung der Worte, so erklären sie das Wesen der Flüssigkeit durchaus nicht, man mag die erstere oder die letztere Bezeichnung in dieser Hinsicht einer Prüfung unterwerfen Wenn nämlich die anziehenden und abstoſsenden Kräfte sich völlig aufheben, so findet keine Wirkung weder der einen noch der andern statt, und die Molecülen der Flüssigkeiten müſsten sich ohne irgend einen Widerstand trennen lassen, wogegen auſser mehreren andern Erfahrungen schon die Tropfenbildung streitet. Würde also irgend ein Körper von einer Flüssigkeit benetzt, so müſste eine Schicht dieser letzteren von verschwindender Dicke an ihm hängen bleiben, die übrigen Theilchen aber, der Schwere folgend, wie lockeres Pulver herabsinken, ohne einen Tropfen zu bilden. Die spätere Bezeichnung ist ungleich weniger bestimmt. Eine völlige Gleichheit der Anziehungen aller Molecülen setzt keineswegs ein wechselseitiges Aufheben derselben voraus, sondern bloſs den Zustand der Ruhe, welcher aber den festen Körpern mit weit gröſserem Rechte zugeschrieben werden muſs als den flüssigen, beiden aber ohne anderweitige Bedingungen unleugbar zukommt. Denkt man sich nämlich ein gegebenes Molecül irgend eines festen oder flüssigen Körpers etwa in der Mitte desselben, so wird es von allen Seiten völlig gleichmäſsig ange-

1 G. XLVII. 12 u. 18.

zogen, muſs daher ruhen, wird aber einer Kraft, welche dasselbe von den begrenzenden Molecülen trennen will, nach allen Seiten hin gleichen Widerstand entgegensetzen, auſser wo das blätterige Gefüge der Krystalle eine Verschiedenheit dieser Anziehung erzeugt.

Die Vorstellungen, welche Link hiernach von der Festigkeit und Flüssigkeit hegt, lassen sich am leichtesten beurtheilen, wenn man den Weg verfolgt, auf welchem er zu denselben gelangte. Rumford folgerte nämlich aus seinen bekannten Versuchen[1], daſs das Wasser auf seiner Oberfläche eine Art von Haut bilde, auf welcher kleine Schwimmer liegen bleiben. Obgleich dieser Satz, wenn er übrigens wahr wäre, bloſs vom Wasser gültig seyn könnte, und in einer gewissen Eigenthümlichkeit desselben gegründet seyn müſste, so betrachtete dennoch Link dieses als bezeichnenden Charakter des Flüssigkeitszustandes überhaupt, fand die Ursache des letzteren in einer Gleichheit der Anziehungen nach allen Seiten, welche eben an der Grenze fehlen und daher diesen Zustand aufheben sollte, und erklärte den Festigkeitszustand diesemnach als einen aus der Flüssigkeit abgeleiteten und folglich secundären aus einer Aggregation der Elementartheilchen in Form von Blättern mit Zwischenräumen. Das blätterige Gefüge mancher Mineralien diente zur Unterstützung dieser Hypothese, desgleichen daſs der Flüssigkeitszustand wieder erzeugt wird, wenn ein tropfbar flüssiger Körper oder auch nur die Wärme die Zwischenräume der hypothetischen Blättchen ausfüllt, welche den Zustand der Festigkeit bedingen. Daſs aber Rumford's Hypothese an sich unstatthaft sey, ist im Artikel *Adhäsion* nachgewiesen, und folgt auch aus La Place's Theorie der Capillarität, welche das Phänomen der auf Wasser schwimmenden Nähnadeln aus andern Principien erklärt. Auſserdem läſst sich gegen Link's Hypothese ein Mangel an Consequenz vorbringen, indem sie nicht angiebt, warum die Festigkeit der in tropfbar flüssigen Körpern auflöslichen Substanzen nicht auch durch das Eindringen der Gase in die vorausgesetzten Zwischenräume aufgehoben wird? Endlich aber müſsten tropfbare Flüssigkeiten von der einen Seite betrachtet gar nicht zusammendrückbar seyn, wenn man ihre Molecülen in unmittelbarer Berührung mit einander befindlich

---

1 S. *Adhäsion* Th. I. S. 196.

denken wollte, von der andern Seite aber durch mechanischen Druck sogleich fest werden, in sofern durch diesen das bestehende Gleichgewicht der anziehenden Kräfte aufgehoben würde. Solche Einwendungen ließen sich nur durch neue Hypothesen beseitigen, welches aber ein schlimmes Kennzeichen für eine aufgestellte Theorie ist[1].

In der neuesten Abhandlung sucht Link abermals die Erscheinungen der Festigkeit auf den Conflict einer anziehenden und abstoßenden Kraft zurückzuführen, und hält die hierbei wirkende Ziehkraft für eine andere als diejenige, welche der Schwere zum Grunde liegt, weil jene in einer andern abstoßenden einen Gegensatz habe, diese dagegen nicht. Das hierbei beobachtete Verhalten soll dann auf das bei allen polarischen Erscheinungen vorwaltende Gesetz zurückkommen, daß gleichliegende Puncte einander abstoßen, ungleichliegende aber anziehen. Bei der Prüfung des Beweises für diese Hypothese kann man sich indeß der Furcht nicht erwehren, die Sache mißverstanden oder schief aufgefaßt zu haben, und auf allen Fall ist er nicht auf eine solche Weise klar und stringent,

1 Zur Unterstützung der Hypothese, daß Gleichheit der Anziehung die Flüssigkeit, Ungleichheit derselben die Festigkeit bedinge, hat man das Festwerden des Seifenschaumes angeführt. Indeß kann diese, auf den ersten Blick täuschende, Erscheinung die vielen Gegengründe gegen diese Theorie nicht aufheben, namentlich daß ein Element von Eisen im Mittelpuncte einer eisernen Kugel durchaus gleichmäßiger Anziehung nach allen Seiten hin unterworfen seyn muß, und doch nicht flüssig ist. Welches ist außerdem der Unterschied der Anziehung, welche ein gegebenes Volumen Blei in einer flüssigen und in einer festen Masse dieses nämlichen Metalles erleidet? Von der andern Seite müßten Oel und Wasser, oder die vier Flüssigkeiten des Elementarglases, durch einander geschüttelt, sofort fest werden, auch könnte man das Nämliche vom Nebel und den Wolken erwarten, oder vom Wasser, wenn man das sogenannte Sieb der Vestalinnen hineinsenkt und Luft durch die feinen Löcher desselben bläst, welche dann in zahlreichen Blasen aufsteigt. Das Festwerden des Seifenschaumes dagegen erklärt sich aus der Zähigkeit der dünnen Häute, welche die zahllosen kleinen Luftblasen umgeben. So ist der Schaum des stark petillirenden Selterwassers, selbst wenn er gewaltsam aus der geöffneten Flasche steigt, gar nicht zähe, Champagnerschaum etwas zäher, Bierschaum noch mehr, und Seifenschaum wirklich fest, alles nach dem Grade der Zähigkeit, welchen die Schaum bildende Flüssigkeit besitzt.

dafs er Ueberzeugung hervorzubringen vermöchte. Link stellt nämlich die getrennten Theile der festen Körper als Linien dar, welche beim Zerreifsen eine Drehung um ihr Centrum erhalten, wonach dann das Ende der Linie angezogen, das andere abgestofsen werden soll. Allein wo liegt der Beweis, dafs die Molecülen der Körper eine lineare Form haben? Selbst in dem Falle, wenn feste Körper gebogen werden, ist eine solche lineare Anordnung der Theile nicht anzunehmen, vielmehr wird durch äufsere Gewalt die Form der Körper geändert, indem die Elemente derselben entweder einander näher gerückt werden, als sie im Zustande des Gleichgewichtes sind, oder weiter von einander entfernt, bis sie über die Grenze ihrer Attractionssphäre gebracht sich trennen; nach der Ansicht anderer aber findet beides gleichzeitig statt, niemand hat indefs noch eine lineare Drehung um den Mittelpunct der die Elemente darstellenden Linien angenommen. Ueberhaupt mufs die Erklärung des Zustandes der Festigkeit und Flüssigkeit entweder dynamisch oder atomistisch seyn. Im ersteren Falle verlieren sich die Elemente der Körper selbst in Kräfte, und sind fest bei überwiegender Ziehkraft, wobei eine weitere Aufsuchung des Causalen eigentlich wegfällt; im zweiten Falle, hauptsächlich nach der Ansicht der französischen Physiker seit Haüy, sind die Molecülen der Körper gleichfalls Körper, haben demnach Ausdehnnng nach drei Dimensionen, wie klein sie auch seyn mögen, ihre Aggregation ist Folge ihrer Anziehung in bestimmten Richtungen ihrer Axen, und der Zustand der Festigkeit, Flüssigkeit und Gasform wird durch den Einflufs der Wärme in demjenigen Sinne bewirkt, welchen La Place's sogleich zu erwähnende Hypothese hierüber angiebt, in keinem Falle aber kann bei der Biegung eines festen Körpers an lineare Elemente, oder linear zusammengeordnete Elemente, welche sich um ihren Mittelpunct drehen gedacht werden. Wenn man z B. einen Wollaston'schen Platindraht, also einen festen Körper, abreifst, wie kann hierbei an eine solche Drehung, überhaupt an einen Conflict einer anziehenden und abstofsenden Kraft, beide als Ursache der Festigkeit angenommen, gedacht werden? Endlich dürfte man auch fragen, wo z. B. bei einem tropfbar flüssigen oder erstarrten Schrotkorne, oder etwa bei einem würfelförmigen Krystalle Flufsspath, einem unleugbar festen Körper, die gleichliegenden und die un-

gleichliegenden Puncte anzunehmen sind, wovon jene zur Erklärung der Festigkeit sich abstofsen, diese sich anziehen sollen? Habe ich also die mit den eigenen Worten ihres Erfinders widergegebene Hypothese richtig verstanden, so ist sie zur Erklärung des verschiedenen Aggregatzustandes der Körper eben so ungenügend, als die frühere war[1].

Eine Hypothese, wonach v. Grotthuss[2] den Flüssigkeitszustand aus einer steten, durch *Galvanismus* erzeugten, Bewegung der Atome ableitet, jenen Galvanismus aber wieder als das Resultat einer Verschiedenheit der Bestandtheile betrachtet, woraus nach seiner Ansicht alle Flüssigkeiten, auch die bisher für gleichartig gehaltenen, bestehen sollen, kann unmöglich Beifall finden. Hiernach müfste eine Mischung von Zink und Silber, welche rücksichtlich ihres galvanischen Verhaltens weit von einander abstehen, flüssig bleiben, ja die beiden Metalle müfsten in der Berührung flüssig werden. Ob man ferner annehmen darf, dafs der Sauerstoff und Wasserstoff im Wasser noch mit ihrer eigenthümlichen galvanischen Thätigkeit neben einander bestehen, und nicht ein neues, individuell galvanisches Ganzes bilden, ist sehr fraglich. Im Ganzen aber ist die Theorie unhaltbar, weil sie in gewisser Hinsicht voraussetzt, dafs ein Körper erst flüssig seyn müsse, und dann seine Bestandtheile die Bewegung als Ursache ihres Flüssigkeitszustandes durch Galvanismus erhielten.

Schon an mehreren Orten dieses Werkes[3] ist La Place's Hypothese erwähnt, wonach er den verschiedenen Zustand der Körper rücksichtlich ihrer Festigkeit, Flüssigkeit oder Gasform aus dem Einflusse der Wärme ableitet, und sie mufs noch einmal im Artikel *Gas* vollständig untersucht werden. Hier wird es also genügen sie zunächst nur in so weit zu betrachten, als sie sich auf den Zustand des tropfbar Flüssigseyns bezieht[4].

---

1 Da diese Hypothese die allerneueste jetziger Zeit ist, so konnte eine ausführliche Prüfung derselben hier nicht übergangen werden.

2 G. LXI. 68.

3 S. *Abstofsung* Th. I. S. 125. *Anziehung* ebend. S. 348. *Atmosphäre* ebend. S. 497. *Cohaesion* Th. II. S. 130. *Elasticität* Th. III. S. 217.

4 Vergl. *Gas*.

Nach La Place[1] hängt die Aggregatform der Körper, ob sie fest, flüssig oder gasförmig sind, davon ab, daſs jedes Molecül eines Körpers dem Conflicte dreier Kräfte unterworfen ist, erstlich der Anziehung der umgebenden Molecülen, zweitens der Anziehung des Wärmestoffes jener Molecülen, drittens der Repulsion seines Wärmestoffes durch den Wärmestoff jener Molecülen, indem jene beiden Vereinigung bewirken, die letztere Trennung. Eine Anziehung der Molecülen der Körper gegen den Wärmestoff, oder umgekehrt, ergeben die Erfahrungen auf die evidenteste Weise, denn ohne diese würde der Wärmestoff die Körper sofort verlassen und sich mit der Umgebung in Gleichgewicht setzen, welches aber bekanntlich nicht geschieht; die Abstoſsung des Wärmestoffes in sich selbst ist aber aus dem Verhalten der Gasarten und Dämpfe abstrahirt, welche sowohl überhaupt als auch insbesondere im Verhältnisse ihrer Temperatur ein Bestreben nach steter Ausdehnung zeigen. Im Zustande der Festigkeit ist jene erstere Kraft überwiegend, und die Molecülen sind, mit Rücksicht auf ihre Gestalt, nach ihrer stärksten Attraction vereinigt. Die Vermehrung der Wärme schwächt den Einfluſs der Form der Molecülen, und wenn dieser sehr geringe wird oder verschwindet, so werden die Körper durch die überwiegende Thätigkeit der zweiten Kraft flüssig. Wird die dritte überwiegend stark gegen die beiden ersten, so entfernen sich alle Theile der Flüssigkeit von einander und werden expandirt.

Die Hypothese empfiehlt sich ausnehmend durch ihre genaue Uebereinstimmung mit einer groſsen Menge von Erscheinungen. Dahin gehört hauptsächlich, daſs die Wärme alle Körper ausdehnt[2], die Kälte dagegen zusammenzieht, und zwar mit einer ihrer Cohäsion fast ganz gleichen Kraft. Man kann sich dieses daraus erklären, daſs die Attractionskraft der Molecülen ungehindert ihre Thätigkeit ausübt, wenn ihr nicht durch das repulsive Princip der Wärme entgegengewirkt wird. Vor allen Dingen aber stimmen mit dieser Hypothese die zahlreichen Erscheinungen überein, daſs so viele feste Körper, namentlich die Metalle, durch Wärme aus dem Zustande der Festigkeit in den der Flüssigkeit und endlich der Gasform über-

---

1 Ann. Ch. et Phys. XXI. 22.

2 S. *Ausdehnung* I. 557.

gehen, und bei dieser Veränderung ihres Aggregatzustandes eine so grofse Quantität Wärme binden, obgleich aus Ritter's Behauptung, dafs die beim Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand latent werdende Wärme bei allen Körpern 77° C. betrage, mit der Erfahrung nicht übereinkommt [1]. Endlich gehört dahin auch noch das bekannte Phänomen, dafs durch Zusammendrückung aller Körper Wärme ausgeschieden wird. Kämtz [2] findet einen Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese auch darin, dafs die *Fluidität* der tropfbaren Flüssigkeiten bei den leichtesten am gröfsten ist, der Siedepunct aber bei den letzteren am tiefsten liegt. Als einen Beweis der ersteren Behauptung führt er an, dafs wenn Quecksilber, Wasser, Weingeist und Naphtha, jedes in einem besonderen Gefäfse, gleichmäfsig geschüttelt werden, die Undulationen so viel später aufhören, je leichter die Flüssigkeiten sind. Nach beiden Sätzen mufs man also annehmen, dafs die Molecülen der leichteren Flüssigkeiten durch den Wärmestoff weiter von einander gehalten werden, und dafs eine geringere Vermehrung des letzteren erfordert wird, um die gegenseitige Attraction der Molecülen bis zur Erzeugung der Dampfform völlig zu überwinden. Obgleich indefs beide durch Kämtz aufgestellte Sätze in dem Verhalten verschiedener Flüssigkeiten eine auffallende Bestätigung finden, so können sie doch auf Allgemeinheit keineswegs Anspruch machen. Die fetten Oele, z. B. sind sämmtlich spec. leichter als das Wasser, haben aber eine weit geringere Fluidität, und in Beziehung auf den Siedepunct liegt derselbe namentlich bei der wasserfreien schweflichen Säure nach Bussy [3] bei —10° C. und dennoch ist ihr spec. Gew. = 1,45, bei der Salzsäure aber liegt der Siedepunct bei 48° C. und doch ist ihr spec. Gewicht = 1,1978 und andere Anomalien mehr.

Die letztgenannten Argumente können indefs die Hypothese La Place's an sich nicht widerlegen, verdienen aber bei der Würdigung derselben im Allgemeinen nicht übersehen zu werden. Es kommt hier ferner nicht als etwas dieser Ansicht Entgegenstehendes in Betrachtung, dafs wir das Wesen der Wärme noch nicht genau kennen, und es also nicht als ausge-

---

1 G. IV. 13. Vergl. *Schmelzen.*

2 Hall. Allgem. Liter. Zeitung 1826. No. 270.

3 Schweigg. Journ. N. F. II. 452.

macht ansehen dürfen, ob man sich unter derselben eine ätherartige Materie oder eine für sich bestehende Kraft oder endlich eine bloſse Modification der Körper selbst zu denken habe[1], welches allerdings dann zu erörtern ist, wenn eine Bestimmung darüber verlangt wird, ob die Wärme das einzige, in der Natur existirende, Princip der Repulsion ist, und ob sie diese Abstoſsungskraft durch sich hat oder wiederum einer für sich bestehenden, der Anziehung widerstrebenden, Kraft verdankt. La Place entscheidet bei der Aufstellung seiner Hypothese über diese Fragen nur zum Theil, indem er ein Angezogenwerden der Wärmetheilchen durch die Molecülen der Körper und eine gegenseitige Abstoſsung jener unter einander annimmt, folglich ein materielles Wesen mit inwohnender Repulsionskraft voraussetzt, ohne zu bestimmen, woher die letztere ihren Ursprung habe. Läſst man diese, bei der Wärmelehre nochmals anzustellende Untersuchung hier vorläufig auf sich beruhen, so muſs man gestehen, daſs die Laplace'sche Hypothese den Erscheinungen auf eine ausgezeichnete Weise angemessen ist, und wir können sie also zur Erklärung des tropfbar flüssigen und gasförmigen Zustandes der Körper ganz so annehmen, wie sie durch den scharfsinnigen Geometer aufgestellt ist, jedoch muſs dabei zunächst in Beziehung auf den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit noch Folgendes berücksichtigt werden.

1. Nicht alle Körper sind bei der nämlichen Temperatur tropfbar flüssig. Dieses läſst sich bis jetzt noch nicht anders anders erklären als aus der Voraussetzung, daſs die Molecülen der verschiedenen Körper eine ungleiche Anziehungskraft haben, welche daher durch die eindringende, und von den einzelnen Körpern mit ungleicher Stärke angezogene, Wärme nicht auf gleiche Weise überwunden werden kann. Uebrigens ist bis jetzt noch kein bestimmtes Verhältniſs zwischen der Cohäsion, der specifischen Wärmecapacität, dem spec. Gewichte und dem Schmelzpuncte der verschiedenen schmelzbaren Körper aufgefunden, und ein constantes Gesetz scheint hierüber gar nicht vorhanden zu seyn[2], weswegen man nicht wohl umhin

---

1 Vergl. *Abstoſsung* Th. I. S. 126.

2 Das von Dulong und Petit aufgefundene wichtige Gesetz über ein constantes Verhältniſs zwischen den Atomgewichten und

kann, bei den Körpern insgesammt eine individuelle Beschaffenheit der einzelnen Elemente anzunehmen[1].

2. Man müſste eigentlich erwarten, daſs zusammengesetzte Körper bei einer Temperatur flüssig würden, welche die Summe der Producte ihrer Massen in die Temperaturen ihrer Schmelzpuncte dividirt durch ihre beiderseitigen Massen ist; allein dieses stimmt nicht mit der Erfahrung überein. In sehr vielen Fällen sind nämlich alle zusammengesetzte Körper leichter schmelzbar als ihre einzelnen Bestandtheile, in andern dagegen, z. B. beim Schwefelblei, werden sie schwerer schmelzbar[2]. Auſserdem aber geben, ohne den Einfluſs einer erhöheten oder verminderten Temperatur, manche vereinigte Gasarten tropfbarflüssige oder auch feste Körper, und tropfbare Flüssigkeiten, mit einander vereinigt, erscheinen als fest. Als Beispiele mögen hier erwähnt werden, die Verbindung des Sauerstoffgas mit Wasserstoffgas zu Wasser, des salzsauren – und Ammoniak - Gas zu Salmiak, desgleichen als noch auffallender, daſs ein Maſs Fluorborongas mit zwei Maſs Ammoniakgas tropfbar - flüssig, gleiche Maſse von beiden vereinigt aber fest werden. Eine Verbindung von Schwefelsäure mit einer gesättigten Solution von kaustischem Natron krystallisirt nach dem Erkalten, und liefert feste Krystalle, welche das vorhandene Wasser als Krystallisationswasser enthalten. Ein zwar im Wesentlichen minder bedeutendes, aber des augenblicklichen Erfolges wegen auffallenderes und daher bekannteres Beispiel des Festwerdens tropfbarer Flüssigkeiten ohne Temperaturverminderung ist, wenn man eine gesättigte Solution von salzsaurem Kalke mit einem etwa gleichen Volumen verdünnter Schwefelsäure (1 Th. Säure 1 Th. Wasser) mischt, und die Masse sofort consistent werden

---

spec. Wärmecapacitäten der Körper verweise ich unter den Art. *Wärme.*

1 Avogadro's Untersuchungen, welche mit dieser Frage einigen Zusammenhang haben, können hier nicht mitgetheilt werden. S. Memorie della Reale Acad. della Sc. di Torino. XXX u. XXXI. Vgl. *Materie.* Auch Parrot's indirecter Einwurf gegen diese Hypothese La Place's, welchen er aus dem ungleichen Verhältnisse der Cohäsion und Wärmecapacität der Körper hernimmt. S. Theor. Naturl. I. 89, fällt weg, wenn man den Molecülen der verschiedenen Körper eine verschieden starke Anziehungskraft gegen einander und gegen die Wärme beilegt.

2 Vergl. *Schmelzen.*

sieht. Hierbei verbindet sich die Schwefelsäure mit dem Kalke zu Gyps, welcher im Wasser unlöslich ist, und die verdünnte Salzsäure in seine Zwischenräume aufnimmt. Das Factische hierbei ist, daſs die Molecülen des Kalkes mit Salzsäure verbunden eine gröſsere Neigung zum Flüssigseyn haben, als wenn sie mit Schwefelsäure vereinigt sind, und zwar in einem so überwiegenden Grade, daſs im letzteren Falle selbst die zwischen den Gypstheilchen befindlichen Flüssigkeiten, nämlich Salzsäure und Wasser, die Verwandlung in einen festen Körper nicht hindern, ohne daſs eine veränderte Temperatur hierbei wirksam ist. Als Erklärung nach La Place's Hypothese kann angeführt werden, daſs wegen groſser Affinität zwischen Schwefelsäure und Kalk, wovon erstere noch obendrein einen geringen Grad von Fluidität und ein groſses spec. Gewicht hat, eine sehr innige Verbindung beider Substanzen eintritt, wodurch einige Verdickung und Ausscheidung von etwas Wärme als Folge geringer Wärmecapacität verursacht wird. Hiernach können dann die vergröſserten Molecülen des Gypses ihrer Attraction ungehinderter folgen, und sich zu einem festen Körper vereinigen, welcher ohnehin leicht krystallisirt, und dabei in sein Gefüge eine Menge Wasser theils als Krystallisationswasser, theils als zwischen den vereinigten feinen Nadeln des krystallisirten Gypses mechanisch eingeschlossen aufnimmt, welches, wie oben erwähnt ist, in einem solchen gebundenen Zustande das Flüssigseyn nicht herbeiführt. Aehnliche Erscheinungen giebt eine Mischung aus gesättigten Lösungen von salzsaurem Kalke und schwefelsaurem Natron, wobei die Säuren ihre Salzbasen wechseln; auch kann man alle Präcipitate dahin rechnen, welche durch Vermischung von Solutionen mit tropfbaren Flüssigkeiten entstehen. Hierbei kommt dann der Uebergang der gelösten Substanz aus dem Flüssigkeitszustande in den der Pulverform oder einer consistenten Masse zugleich auch darauf hinaus, daſs der flüssige Körper der neuen Verbindung den Flüssigkeitszustand zum Theil vielleicht wegen geringerer Affinität zu demselben nicht mehr zu ertheilen vermag.

3. Es reihen sich hieran diejenigen Erscheinungen, welche sich bei einigen Substanzen zeigen, nämlich daſs sie in niedriger Temperatur flüssig, in höherer gerinnen, also bei vermehrter Wärme aus dem liquiden Zustande in einen minder liquiden, härteren, übergehen. Dahin gehört vorzüglich der Eiweiſsstoff,

Käsestoff und einige andere Körper. Man kann diese Art des Verhaltens ohne grofse Schwierigkeit schon dann mit der aufgestellten Hypothese vereinigen, wenn man annimmt, dafs die Molecülen der genannten Substanzen durch den Einflufs der Wärme eine vermehrte Anziehungskraft zu einander erhalten, während die zum Wasser geschwächt wird, weswegen sie sich einander mehr nähern, das flüssig machende Wasser aus ihren Zwischenräumen entfernen und daher eine gröfsere Dichtigkeit und mehr Festigkeit erhalten. Alle diese Körper werden nämlich nicht an sich durch den Einflufs der Wärme flüssig, sondern durch ein mit ihnen verbundenes Fluidum, dessen auflösende Kraft aber durch Wärme nicht vermehrt sondern vielmehr vermindert wird.

Aufserdem aber ist das Verhalten dieser Körper in Beziehung auf die Wirkungen der Wärme nicht rein, sondern es kommt dabei der Einflufs chemischer Verwandtschaften in Betrachtung. Der Käsestoff z. B. gerinnt in frischer Milch nur an der Oberfläche beim Zutritte der atmosphärischen Luft und also muthmafslich durch den Beitritt des Sauerstoffes aus derselben; ist er aber in der älteren Milch schon geschieden, so hat sich auch Säure gebildet, durch deren Einflufs derselbe beim Erhitzen erhärtet. Ob nicht bei der Erhärtung des Eiweifsstoffes etwas Aehnliches durch den Beitritt des im Wasser enthaltenen und aus der Luft hinzutretenden Sauerstoffes geschehe, bleibt immer fraglich.

4. Ungleich schwieriger ist es, das allerdings räthselhafte Verhalten des Schwefels in verschiedenen Temperaturen überhaupt zu erklären, oder insbesondere auch mit der aufgestellten Hypothese in Einklang zu bringen. Es ist nämlich allgemein bekannt, dafs dieser Körper durch Hitze tropfbar flüssig wird, und einen bedeutenden Grad der Fluidität erhält, durch weitere Vermehrung der Wärme aber eine braun-röthliche Farbe annimmt, dabei wieder in den Zustand der Zähigkeit übergeht, und bei noch gröfserer Hitze abermals flüssig geworden aus diesem Zustande sich verflüchtigt. Man kann dieses allerdings seltsame Phänomen am leichtesten beobachten, wenn man eine Glasröhre von 1,5 Fufs Länge und 0,3 bis 0,5 oder 0,75 Zoll Durchmesser, nachdem sie an einem Ende zugeblasen ist, zu etwa 0,6 ihrer Länge mit Schwefel füllt, das offene Ende mit einem Korke leicht verstopft und über Kohlen erhitzt. Es läfst

sich dann der Schwefel über Kohlen leicht schmelzen, wobei man seine vollkommene Flüssigkeit beobachten kann, durch fortgesetzte Erhitzung wird er aber zähe, geht jedoch wieder in den Zustand der Flüssigkeit über, wenn man ihn nach dem durch Hitze erfolgten Erstarren etwas erkalten läſst. Will man auch die Sublimation beobachten, so darf man die Erhitzung nur fortsetzen, wodurch er nach abermaligem Flüssigwerden vermocht wird, sich im oberen Ende der mit Papier lose verstopften Röhre als feines Pulver (sogenannte Schwefelblumen) anzusetzen. Daſs der Schwefel bei der eben beschriebenen Festwerdung sich verdichte und an Volumen abnehme, glaube ich bei wiederholten Versuchen ohne genaue Messungen beobachtet zu haben[1].

Wenn der Schwefel wirklich ein einfacher Körper ist, wie die Chemiker bis jetzt annehmen, so ist dieses Verhalten desselben höchst räthselhaft, und die Natur bietet kein bis jetzt bekanntes analoges irgend eines Körpers dar. Mit LA PLACE's Theorie ist es an und für sich genommen ganz unverträglich, allein man würde auf ein einzelnes Phänomen zu vieles Gewicht legen, wenn man eine übrigens so consequente und so viele Erscheinungeu erklärende Hypothese um seinetwillen sofort aufgeben wollte. Eine Vermehrung der Wärme muſs zwar die einzelnen Elemente jedes Körpers mehr von einander entfernen, und daher im Allgemeinen die Fluidität verstärken, allein bei einer so räthselhaften Potenz, als die Wärme ist, kann man sich doch mindestens vorstellen, daſs bei einer gewissen Intensität derselben die Theilchen der erhitzten Körper eine individuelle Lage annehmen, vermöge welcher sie sich einander stärker anziehen, und daher einen verminderten Grad des Fluidität zeigen. Ob sie in diesem eigenthümlichen Zustande eine Art von Krystallisation zeigen, ist durch Versuche noch nicht ausgemittelt, und überall schwer bestimmbar, inzwischen deutet die Veränderung der Farbe des Schwefels und seine geringere Durchsichtigkeit in dem genannten Zustande allerdings auf eine veränderte Lage seiner Molecülen. Man könnte in gewis-

1 Nach OSANN Beiträge zur Chemie und Physik. Jena 1822. 8. S. 69 schmilzt der Schwefel bei 75° R., wird bei 102° R. zähe, bei 166° wieder dünnflüssiger, siedet bei 195° R. und kann beim Erkalten in einer Temperatur von 60°,5 R. noch flüssig erhalten werden.

ser Hinsicht dieses sein Verhalten mit dem des Wassers vergleichen, welches aus dem Eise dargestellt durch Vermehrung der Wärme zuerst den Zustand der gröfsten Dichtigkeit erhält, und von diesem an durch die Wärme nach einem gewissen Gesetze ausgedehnt wird. Inzwischen mag dieses nur als ein Versuch gelten, ein Phänomen zu enträthseln, welches seine vollständige Aufklärung erst in der Zukunft erwartet. Schweigger[1] findet die Ursache desselben in einer eigenthümlichen *Krystall-Elektricität*[2], welche den Elementen der Körper angehörend den Einfluſs der Wärme auf dieselbe modificiren soll; allein Osann[3] wendet hiergegen mit vollem Rechte ein, daſs die Existenz einer solchen eigenthümlichen Elektricität noch nirgend nachgewiesen und ihre vermeintliche Modification des Einflusses der Wärme überall noch nicht dargethan ist. Wir wissen zwar, daſs die Elektricität bei vorzüglicher Intensität Wärmeentwickelung erzeugt, daſs sie aber die Wirkungen der Wärme aufheben sollte, dafür spricht keine der bis jetzt bekannten Thatsachen, und sollte die Krystall-Elektricität dieses bewirken, so müſste zuvor ihr Unterschied von der gemeinen Elektricität und der Grund, worauf sich dieses ihr Verhalten stützt, genügend dargethan werden. Osann[4] hält dagegen den Schwefel für keine einfache Substanz, und nimmt an, daſs das Lösungsmittel desselben, welches durch den Einfluſs der Wärme seinen Flüssigkeitszustand herbeiführe, bei erhöheter Temperatur mit geringerer Kraft auf die gelösete Substanz wirke, diese daher ausgeschieden und fester werde. Nach dieser Ansicht reihet er diese Erscheinung an die unter No. 5 zu erwähnenden an, allein eine genauere Prüfung ergiebt, daſs sie unter diese Classe nicht gehört. Einen Beweis für die Zusammensetzung des Schwefels findet er hauptsächlich in diesem seinem Verhalten bei verschiedenen Graden der Hitze, und namentlich in der Veränderung seiner Farbe. Allein auf der einen Seite liegt in dem Uebergange des Schwefels aus dem Zustande der Festigkeit in den der Flüssigkeit und dann wieder zur Zähigkeit und abermals zur Flüssigkeit durch bloſse Vermehrung der Hitze

1 Dessen Journ. V. 49.
2 Vergl. *Krystall-Elektricität.*
3 G. LXIX. 283 u. 298.
4 a. a. O. S. 297.

kein Grund, auf sein Zusammengesetztseyn zu schliefsen, auf der andern würde es sogar schwierig seyn aus optischen Gründen nachzuweisen, warum der aus dem Flüssigkeitszustande wieder zähe gewordene Schwefel nicht die Farbe des festen wieder erhalten sollte, da an eine Entmischung desselben oder das Hinzukommen eines Bestandtheiles nicht zu denken ist. Endlich aber enthält OSANN's Hypothese keine eigentliche Erklärung, sondern schiebt diese nur etwas weiter hinaus. Denken wir uns nämlich den Schwefel aus einem Auflösungsmittel und einer auflöslichen Substanz zusammengesetzt, und wird die auflösende Kraft des ersteren durch Hitze so sehr verstärkt, dafs der Flüssigkeitszustand beider vereinten Substanzen dadurch erzeugt wird, worin sollte der Grund liegen, dafs die vermehrte Wärme diese Kraft schwächte, und die noch stärker vermehrte sie wieder herstellte? Wenn OSANN sagt, das auflösende Mittel werde stärker ausgedehnt, und seine Theile trennten sich dadurch mehr von dem aufgelöseten Körper, so dafs die Molecülen des letzteren ihrer eigenthümlichen Anziehung ungehindert folgen könnten, so müfste die zunehmende Hitze diese Trennung, und somit auch die Festigkeit des aufgelöseten Körpers fortwährend vermehren, welches aber gegen die Erfahrung streitet.

5. Wäre OSANN's Erklärung die richtige, so fiele die angegebene Erscheinung mit einer andern, fast gleich räthselhaften, zusammen, nämlich der Lösbarkeit des Kalkes im Wasser. DALTON nahm wahr, dafs dieser Körper mehr heifses Wasser zu seiner Lösung bedürfe als kaltes, PHILLIPS aber hat durch genauere Versuche gefunden, dafs 1 Theil Kalk, 656 Theile Wasser von 0° C., 752 Theile von 15°,6 und 1280 Th. Wasser von 100° zu seiner Lösung erfordert, so dafs daher das bei 0° gesättigte Kalkwasser bei 100° viel Kalk in kleinen Krystallen absetzt [1]. Sollte dieses Phänomen dem eben angegebenen völlig gleich seyn, so müfsten die in höherer Temperatur gebildeten Krystalle in noch höherer wieder aufgelöset werden, worüber zwar keine Versuche vorhanden sind, welches aber nicht wahrscheinlich ist. Eine festbegründete befriedigende Erklärung dieser Thatsache scheint mir für jetzt noch zu fehlen, Hypothe-

---

1 DAVY System II. 331. PHILLIPS Ann. of Phil. I. 107. Vergl. L. Gmelin Handbuch 3te Aufl. I. 642.

sen liefsen sich wohl ohne grofse Schwierigkeit auffinden; der Unterschied beider Phänomene, des beim Schwefel und des beim Kalke sich zeigenden wird weiter unten angegeben werden.

6. Es giebt noch einige bekannte und vielleicht noch verschiedene unbekannte Verbindungen, welche durch erhöhete Temperatur minder flüssig werden, gerinnen oder erstarren. Da ich mich nicht zu weit in das Gebiet der Chemie verirren darf, so erwähne ich nur kurz die wichtigsten und bekanntesten derselben[1]. Diese sind die von Lassonne[2] und Osann[3] aufgefundenen Verbindungen von weinsteinsaurem Kali und Natron mit Kalk und Strontian, desgleichen von Zucker und Kalk und die von Gay-Lussac[4] angegebene essigsaure Thonerde, sobald sie gewisse andere Salze beigemischt enthält, wie dieses bei ihrer Darstellung aus Alaun und Bleizucker der Fall ist. Alle diese Verbindungen haben das Eigenthümliche, dafs sie nach der verschiedenen Stärke ihrer Concentration in ungleichen höheren Temperaturen gerinnen, wobei einer der Bestandtheile ausgeschieden wird, welcher sich aber beim Erkalten der Flüssigkeit in derselben wieder auflöset, und daher bei geringerer Wärme durch das Filtrum geht, wenn er bei höherer auf demselben zurückbleibt. Osann ist geneigt, auch dieses Verhalten mit dem des Schwefels in Parallele zu setzen, und beide auf gleiche Weise zu erklären; ungleich leichter und der Natur der Erscheinung selbst angemessener scheint es mir aber zu seyn, wenn man annimmt, dafs das Wasser, welches den Flüssigkeitszustand der verschiedenen vereinigten Substanzen unter Mitwirkung eines wechselseitigen Einflusses derselben auf einander erzeugt, bei erhöheter Temperatur mit einem oder einigen jener Substanzen inniger verbunden, eben dadurch von einem oder mehreren derselben aber getrennt wird, und somit eine Ausscheidung, also eine Gerinnung derselben bewirkt. Das Ganze kommt folglich auf ein durch die Temperatur bedingtes ungleiches Spiel der Verwandtschaften jener aufgelöseten Stoffe zurück, indem noch obendrein bei den meisten jener Verbin-

---

1 Vgl. Schweigg. J. V. 49.
2 Mém. de l'Acad. Étrang. 1773. 214.
3 G. LXIX. 283.
4 Ann. de Chim. LXXIV. 195.

dungen der Kalk sein unter No. 5. angezeigtes Verhalten gleichfalls wahrnehmen läfst, und auf allen Fall sind diese Erscheinungen nicht geeignet, als Argumente gegen La Place's Theorie benutzt zu werden.

7. Das bekannte, von Musschenbroek zuerst beobachtete, von Blagden[1] genauer untersuchte Phänomen, dafs reines und ruhig stehendes oder nur wenig bewegtes Wasser tief unter den Gefrierpunct erkaltet werden kann, nach erfolgter stärkerer Bewegung aber, oder bei der Berührung mit einem Eiskrystalle sogleich gefriert und eine höhere Temperatur annimmt, kann nur scheinbar als gegen La Place's Hypothese streitend betrachtet werden, da es genau genommen einen bedeutenden Beweis dafür liefert[2]. Man könnte allerdings sagen, dafs die Wärme das unter dem Gefrierpunct erkaltete Wasser verlasse, und wenn man jene als das repulsive Princip betrachte, welches das feste Eis in tropfbar flüssiges Wasser zu verwandeln vermöge, so müsse auch umgekehrt die Entziehung derselben den Zustand der Festigkeit wieder herbeiführen, wenn nicht andere Ursachen, namentlich attractive und repulsive Kräfte dabei wirksam wären. Eine Würdigung der letztern Hypothese wird sogleich folgen, hier wird aber vorläufig erfordert nachzuweisen, wie sehr das eigentliche Verhalten der in Frage stehenden Erscheinung die Hypothese von dem Bedingtseyn des festen oder tropfbar flüssigen Zustandes der Körper durch Wärme unterstütze. Wollen wir nämlich das genannte Phänomen nach La Place's Hypothese erklären, so müssen wir annehmen, dafs bei allmäliger Entweichung der Wärme die Molecülen des Wassers einander in Folge ihrer Attraction näher kommen, womit zugleich eine Zunahme der Dichtigkeit verbunden ist, und dieses dauert so lange, bis das Wasser den Punct seiner gröfsten Dichtigkeit erreicht hat. Dieses merkwürdige Verhalten, nämlich dafs eine Flüssigkeit vor ihrem Festwerden durch Kälte zuvor am dichtesten wird, ist dem Wasser vermuthlich deswe-

1 Phil. Trans. LXXVIII. I. 125 u. 277.

2 Biot Traité. I. 253. erzählt dieses Phänomen ausführlich, und sieht im Allgemeinen die Wärme als Ursache der Repulsion an, ohne zu entscheiden, ob sie das repulsive Princip selbst sey, oder nur eine eigenthümliche Repulsivkraft besitze; auch giebt er nicht bestimmt an, ob jenes Phänomen für oder wider La Place's Hypothese entscheide.

gen allein eigen, weil es durchaus homogen eine solche überwiegende Neigung zur vollkommenen Krystallisation hat, und bei seiner Krystallisation eine so bedeutende Ausdehnung erhält. Andere Flüssigkeiten liefern entweder keine so vollkommene Krystalle beim Festwerden, oder die aus ihnen gebildeten Krystalle werden eigentlich nur aus den Lösungsmitteln ausgeschieden, welches ein von dem völligen Krystallisiren des Wassers ganz verschiedener Procefs ist. Wäre irgend ein anderer Körper in dieser Hinsicht mit dem Wasser in Parallele zu setzen, so müfste es das Wismuth seyn, es ist mir aber nicht bekannt, ob auch bei diesem Metalle ein Punct der gröfsten Dichtigkeit in seinem geschmolzenen Zustande statt findet. Bei dem Wasser also müssen wir annehmen, dafs, nach Haüy's[1] Ansicht von der Krystallbildung, die Molecülen desselben bei dem Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit in eine Lage kommen, in welcher sie sich zur Erzeugung ihrer bestimmten Krystallformen nach speciellen Richtungen ihrer Axen anziehen, und daher nur in einigen Puncten einander näher kommen, in andern aber weiter von einander entfernen. Befindet sich das Wasser dann in vollkommener Ruhe, und wird den Theilchen desselben kein schon gebildeter Krystall genähert, durch dessen Anziehung die Molecülen sollicitirt werden, sich an diesen anzulegen und gleichfalls Krystalle zu bilden, so wird kein Festwerden eintreten, wenn nicht durch überwiegende Entziehung der Wärme dieses dennoch erfolgt. Die durch die Molecülen des Wassers angezogene Wärme, welche in gewisser Hinsicht den Gesetzen träger Massen eben so als die Molecülen des Wassers selbst und gleichzeitig mit diesen folgt, wird latent, und wirkt nicht auf das im Wasser befindliche Thermometer, bis sie durch irgend einen Impuls in Bewegung gesetzt sowohl die Bildung der Krystalle durch ihre Entweichung gestattet, als auch gleichzeitig am Thermometer durch Erhöhung der Temperatur wahrgenommen wird.

Manche Physiker werden in dieser Ansicht eines seit langer Zeit bekannten merkwürdigen Phänomens eine auffallende Hinneigung zum groben Atomismus erblicken, in sofern der Wärme

---

1 S. Éssay d'une théorie sur la structure des cristaux. Par. 1784. Traité de cristallographie. Par. 1822.

ein Angezogenwerden durch die Molecülen des Wassers und sogar eine Art von Trägheit bei ihrer Bewegung zugeschrieben, zugleich aber von Axen der Molecülen des Wassers und einer ungleichen Anziehung nach der Richtung und Lage derselben geredet wird; allein seitdem die Krystallographie durch gleiche Principien zur reellen Wissenschaft erhoben ist, die Chemie aber über gleichem Grunde ein wohlgeordnetes, regelrechtes und allem Anscheine nach unerschütterliches Gebäude aufgeführt hat, darf die verschwisterte Physik mit unbestreitbarem Rechte zum Mindesten den Versuch wagen, auf einem ähnlichen festen Boden sich selbst systematisch zu ordnen, um so mehr als das lockere Gewebe bloſser entgegenwirkender Kräfte das Ganze nicht weiter zusammenzuhalten vermag, und man sogar schon mit glänzendem Erfolge die schwierigsten Phänomene des Lichtes aus mechanisch fortschreitenden Undulationen eines Lichtäthers zu erklären versucht hat. Uebrigens steht die erörterte Thatsache der Krystallisation des Wassers nicht isolirt und ohne ähnliche Erscheinungen im Gebiete der Naturlehre, sondern man darf annehmen, daſs ziemlich allgemein bei schnellem Uebergange zur Krystallform Wärme entbunden wird. Nur ein Beispiel dieser Art möge hier Platz finden, welches zugleich so auffallend ist, daſs es ohne die gewichtige Autorität des Erzählers kaum Glauben finden würde. B. Scholz[1] erzählt nämlich: „Es wurde eine bis zum Krystallisationspuncte abgedampfte Lauge salzsauren Kalkes im Winter vor das Fenster zum Krystallisiren gestellt. Als nach dem völligen Erkalten der Lauge dieses nicht vor sich gehen wollte, nahm ich die Abrauchschale herein, um die Lauge weiter abzudampfen. Durch diese Erschütterung fing die ganze Lauge augenblicklich zu krystallisiren an, die Schale wurde aber auch so schnell heiſs, daſs ich sie kaum so lange halten konnte, um sie auf den nächsten Tisch zu tragen. Dabei fing die Lauge sich heftig zu bewegen und zu wallen an, als ob sie im stärksten Sieden begriffen wäre.“ Es scheint mir überflüssig, auſser dem, was rücksichtlich der Krystallisation des Eises in sehr niedriger Temperatur gesagt ist, der eben erwähnten Erscheinung noch eine Erklärung hinzuzufügen. Aehnlich dieser Erscheinung ist das

1 Anfangsgründe der Physik. Wien 1821. S. 252.

Flüssigbleiben des Schwefels in mittlerer Temperatur nach Faraday[1] und des Phosphor's nach Poggendorff[2].

Verschiedene Physiker sind nicht geneigt, der oben angegebenen Hypothese La Place's beizutreten, namentlich diejenigen, welche sich zur sogenannten dynamischen Ansicht der Naturlehre bekennen, und diesemnach schon im voraus eine Anziehungs- und Abstofsungskraft annehmen, die Theorie von Molecülen und den sie umgebenden Wärmeatmosphären dagegen verwerfen. Diese Hypothese kann hier nicht umfangend erörtert werden, indem dieses vielmehr bei der Untersuchung des Wesens der Materie[3] geschehen mufs, und es wird daher genügen, nur das Wichtigste kurz anzugeben. Da sich die Ausdehnung der Körper durch Wärme einmal nicht in Abrede stellen läfst, so ist nach einigen Physikern entweder die Wärme eben wie das Licht die Dehnkraft selbst, oder diese letztere ist in jenen beiden Potenzen überwiegend über den zweiten constituirenden Bestandtheil derselben, nämlich die Ziehkraft. In wiefern beide Ansichten unmittelbar zu Inconsequenzen führen und mit den Erscheinungen nicht übereinstimmen, wird im Art. *Wärme* gezeigt werden. Andere nehmen zwar die Existenz der beiden Grundkräfte an, halten aber zugleich die Wärme für eine individuelle Potenz, und legen dieser das Vermögen bei, durch Repulsion die Theilchen der Körper zu trennen. Wenn man die Aeufserungen der zuletzt genannten Physiker nach dem einfachen Sinne der Worte erklärt, so nehmen sie eine für sich bestehende, der Attractionskraft entgegengesetzte, analogen umgekehrten Gesetzen folgende, und durch den Conflict mit jener verschiedene Erscheinungen erzeugende und bedingende Repulsionskraft an, legen aber neben dieser auch der Wärme das Vermögen bei, die Theile der Körper weiter von einander zu entfernen, das Volumen der Massen zu vergröfsern, sie dadurch minder starr, fest und cohärent zu machen, und durch Steigerung ihres Einflusses den Aggregatzustand der Körper abzuändern. So consequent auch diese Hypothese auf den ersten Blick die Phänomene zu erklären scheint, so läfst sie doch genau genommen drei wichtige Fragen ganz unbeantwortet.

---

1 Journ. of Science and the Arts. N. LXII. 392.

2 Dessen Journ. VII. 241.

3 S. *Materie*.

Zuerst nämlich fragt es sich, warum blofs der Wärme ein so überwiegender Antheil der übrigens allgemein verbreiteten und wenn man so sagen darf, gleichmäfsig vertheilten Repulsionskraft zugefallen sey, wenn man nicht annehmen will, die Repulsivkraft der Wärme sey eine andere und von verschiedener Art als diejenige, welche z. B. die völlige Berührung zweier ebener Platten oder die absolute Dichtigkeit aller gegebener Körper hindert; in welchem Falle dann der Unterschied beider Kräfte zuerst nachzuweisen wäre. Zweitens, welches ist das Verhältnifs der einen allgemein wirksamen und zugleich in der Wärme sich äufsernden Repulsivkraft oder beider verschiedener Kräfte gegen die Attractionskraft z. B. bei der Erscheinung einer plötzlichen Erstarrung der Körper mit Entweichung von Wärme in der Krystallbildung, namentlich des Eises? Welche Rolle spielt hierbei die Repulsivkraft? Entweicht sie zugleich mit der Wärme, oder wird auch sie latent, und kann es überhaupt eine latente Kraft geben? Dafs sich das erwähnte Phänomen nach atomistischen Grundsätzen consequent erklären lasse, ist oben gezeigt, wie dieses aber nach dynamischen Principien geschehen könne, ohne sich in die Schwierigkeit zu verwickeln, einen wesentlichen Unterschied zwischen Wärme und Dehnkraft anzugeben oder eine latente Kraft, d. h. eine unthätige Thätigkeit anzunehmen, ist mir bis jetzt noch nicht klar geworden. Die dritte Frage, welche diese Hypothese unbeantwortet läfst, läuft auf etwas diesem ähnliches hinaus, nämlich warum das Verhalten der expansibelen Flüssigkeiten, vor allen der Dämpfe, lediglich eine Function der Wärme sey, und namentlich durch Compression derselben Wärme ausgeschieden, durch Expansion gebunden werde. Bei den Dämpfen soll nach sehr allgemein angenommenen, schon durch den unsterblichen Newton angegebenen Ansichten die Dehnkraft vorzugsweise thätig seyn[1], allein bei der Prüfung der Phänomene reicht man mit der Wärme allein aus und redet allezeit nur von dieser. Werden z. B. Dämpfe von einer höheren Temperatur in einen gröfseren Raum gebracht, so dehnen sie sich aus, ein Theil ihrer Wärme wird latent; bei der umgekehrten Erscheinung findet das Gegentheil statt, und in beiden Fällen nach genauen Verhältnissen des Quantitativen der gebundenen oder frei wer-

1 Vergl. *Gas*, wo diese Fragen näher untersucht werden.

denden Wärme. Welche Rolle spielt hierbei die Dehnkraft, wenn sie nicht eine müfsige Begleiterin der Wärme seyn soll? Es scheint nach allem diesen um vieles leichter und consequenter, mit LA PLACE, BIOT u. a. *die Wärme als das Princip aller Repulsion* zu betrachten, und von den vielfach modificirten Wirkungen derselben zugleich den verschiedenen Aggregatzustand der Körper, namentlich den der Festigkeit, Flüssigkeit und Gasform abzuleiten, als, eine für sich bestehende, der Anziehung entgegenwirkende Dehnkraft als Ursache dieser verschiedenen Aggregatformen anzusehen, wobei aber eine andere Hauptfrage allezeit noch unbeantwortet bleibt, nämlich ob die Wärme selbst dieses repulsive Princip sey, oder ob ihr die eigentliche Abstofsungskraft nur eigenthümlich zugehöre. Eine genügende Beantwortung dieser Frage ist vor der Hand nicht blofs schwierig sondern vielleicht unmöglich, eine nähere Erörterung derselben aber gehört in den Art. *Wärme*.

Da es viel zu weitläufig seyn würde, die verschiedenen Meinungen der Physiker über die vorliegende Frage einzeln zu untersuchen, so beschränke ich mich darauf, nur einige der wichtigsten, denen die übrigen mehr oder minder ähnlich sind, einer näheren Prüfung zu unterwerfen. PARROT hat sich vorzugsweise sehr bestimmt darüber erklärt, dafs die Erscheinungen der Adhäsion und Cohäsion nicht auf die NEWTON'sche Attraction zurückgeführt werden könnten, sondern eine eigenthümliche Flächenanziehung forderten [1]. Als Beweis hierfür wird angegeben [2], dafs die Flüssigkeiten die meisten Berührungspuncte, und zwar gerade in Beziehung auf Flächenanziehung, hätten, folglich am meisten Theile, welche sehr nahe an einander sind, und sie müfsten daher weit mehr Zusammenhang zeigen als feste Körper. In der Note wird dann hinzugesetzt, dafs die Wärme hier nicht aushelfen könne; indem z. B. das Quecksilber am wenigsten Wärmestoff und zugleich (unter den Flüssigkeiten) die gröfste Dichtigkeit habe. Hiernach scheint also PARROT den Aggregatzustand der Körper nicht der Wärme, sondern den Modificationen der Flächenanziehung beilegen zu wollen. Wie schwierig übrigens die Entscheidung der Hauptfrage sey, und wie leicht man sich bei der Beant-

1 S. *Flächenkraft*.

2 Grundrifs der theor. Physik. I. 90.

wortung derselben in Widersprüche seiner eigenen Theorie verwickele, dieses ergiebt sich eben aus dem hier Mitgetheilten selbst. Wäre nämlich die Flächenanziehung sowohl überall wirksam, als auch insbesondere die Ursache des Aggregatzustandes der Körper, so folgt nothwendig, dafs die flüssigen Körper in Folge der mehreren Berührungspuncte sowohl die gröfste Dichtigkeit als auch die stärkste Cohäsion haben müfsten, wie auch Parrot selbst gefühlt hat. Wollte man annehmen, die Theile derselben wären weiter von einander entfernt, und dadurch die Wirkung der Flächenanziehung geringer, so bleibt es dunkel, wodurch diese gröfsere Entfernung der Molecülen bewirkt werde, und diese Dunkelheit kann durch die Annahme einer gegenwirkenden Flächenabstofsung nicht aufgehellet werden, weil damit nicht zugleich die eigentlich thätige Ursache angegeben ist, welche die Wirksamkeit der einen oder der andern dieser beiden Kräfte, und das Verhältnifs ihrer gegenseitigen Stärke bedingen könnte. Zu einer gröfseren Glätte der Molecülen seine Zuflucht zu nehmen reicht gleichfalls nicht hin, weil nicht abzusehen ist, warum z. B. die Molecülen des Eisens im geschmolzenen Zustande glätter seyn sollten als im festen. Aus diesen und vielen andern Betrachtungen folgt dann gleichsam von selbst, dafs die Theorie La Place's noch immer weit weniger Schwierigkeiten zurückläfst, als die so eben angedeutete, obgleich auch sie die Frage nicht ohne gewichtige Einwendungen unbeseitigt zu lassen beantwortet. Uebrigens dient das aus der geringen specifischen Wärme des Quecksilbers hergenommene Argument eher zur Bestätigung, als auf keinen Fall zur Widerlegung derselben; denn eben in der geringen specifischen Wärme dieser Flüssigkeit kann der Grund nachgewiesen werden, weswegen die geringe Quantität derselben, als Folge einer unbedeutend starken Anziehung zwischen beiden, auch nur eine minder starke Repulsion ausübt, so dafs in Folge stärkerer Attraction zwischen den Molecülen dieser Flüssigkeit sie eine so überwiegende Dichtigkeit hat[1].

1 Richmann hat schon zu zeigen gesucht, dafs Quecksilber die Wärme leichter annimmt und abgiebt als Wasser; zugleich aber widerlegt er den von vielen Physikern angenommenen Satz, dafs die dichtesten Körper die Wärme am schwersten annehmen und abgeben sollten. S. Nov. Com. Pet. III. 309. Das Nähere hierüber s. Art. *Wärme*.

Eine scharfsinnig aufgefaſste und gründlich durchdachte Theorie der inneren Beschaffenheit fester und tropfbar flüssiger Körper hat neuerdings SEEBER[1] aufgestellt, welche hier vor allen Dingen näher betrachtet zu werden verdient. Er geht hierbei von der Prämisse aus, daſs die festen Körper aus den Theilen ihrer Materie gebildet sind, indem diese sich einander wechselseitig anziehen, wobei man aber in Gemäſsheit dieser einzigen wirksamen Kraft nothwendig auf absolute Dichtigkeit kommen müſste. Nimmt man aber auf die Erscheinungen der Ausdehnung durch Wärme und insbesondere der Elasticität und Dehnbarkeit Rücksicht, überlegt man ferner, daſs die Erklärung des Grundes dieser Veränderungen nicht gegeben, sondern nur weiter hinausgeschoben würde, wenn man denselben in der Beschaffenheit der Elementartheilchen suchen wollte, so kann man nicht umhin zu der Hypothese seine Zuflucht nehmen, daſs die einfachen Theile der Körper durch anziehende und abstoſsende Kräfte in gewissen Entfernungen von einander gehalten werden, wonach sie sich in Gemäſsheit der Wechselwirkung beider in einem *stabilen Gleichgewichte* befinden. Die Veränderungen des Volumens durch Temperatnr sollen sich dann aus einer veränderten Gröſse der Abstände dieser Molecülen als Folge einer vermehrten oder verminderten Intensität jener Kräfte erklären lassen. Kaum verdient hierbei noch besonders bemerkt zu werden, daſs aus der Nichtwahrnehmbarkeit weder jener Molecülen noch ihrer Abstände unmöglich auf die Nichtexistenz beider geschlossen werden könne, indem die Theile der Körper schon der Erfahrung nach so klein sind, daſs sie unserer Wahrnehmung entschwinden, und diesen nothwendig auch die Zwischenräume proportional seyn müssen[2].

---

1 G. LXXVI. 229 ff.

2 Wenn wir annehmen, daſs bei — 640° C. der absolute Nullpunct liegt, und nach LA PLACE der Abstand der Molecülen fester Körper bloſs eine Function der Wärme sey, endlich, daſs feste Körper sich den Verminderungen der Wärme direct proportional zusammenziehen, so würden diese bei — 640° C. in den Zustand absoluter Dichtigkeit übergehen, und hieraus lieſse sich dann das Verhältniſs der Gröſse der Molecülen zu ihren Zwischenräumen finden. Heiſst nämlich das Volumen eines Körpers bei 0° C. $= v$, bei einer niedrigern Temperatur aber v', die cubische Ausdehnung für einen Grad des Thermometers k, so ist bekanntlich $v' = v\ (1 + kt)$. Ist dieses Verhältniſs der Ausdehnung ein beständiges, so ist $v' : v = 1 : 1 + kt$.

Man wird schon aus dem bisher Gesagten abnehmen, daſs die Hypothese, woraus Seeber den Zustand und die vorzüglichsten relativen Eigenschaften fester Körper zu erklären sucht, auf das in der Mechanik bekannte stabile Gleichgewicht (das équilibre stabile nach dem Ausdrucke der französischen Geometer) zurückkommt, in welchem ein System von materiellen Puncten durch entgegenwirkende Kräfte erhalten wird, wie dieses durch viele Geometer, hauptsächlich durch La Grange, La Place und Poisson mit eben so groſsem Scharfsinn als Gewandtheit im analytischen Calcüle dargestellt ist. Dieser Theorie gemäſs wird der Zustand des Gleichgewichts oder der Bewegung eines Systems von materiellen Theilen, welche durch anziehende und abstoſsende Kräfte auf einander wirken, bedingt durch die Masse und Form der Theile, ihre Lage in Beziehung auf einander und das Gesetz, wonach die Intensität der Kräfte bei wechselnder Entfernung sich ändert. Die materiellen Theilchen, woraus hiernach die festen Körper bestehen, müssen also eine gewisse Form haben, welche übrigens auch nach der Umwandlung ihres Aggregatzustandes aus dem festen in den flüssigen unverändert bleiben muſs, und die Gründe für die Annahme solcher ursprünglichen Gestalten findet Seeber in dem Verhalten der Krystalle rücksichtlich ihrer Gestalt, ihres Gefüges, des Blätterdurchganges und der Theile, worin man dieselben zerlegen kann, wobei er also ganz den Ansichten Haüy's folgt. Von diesen regelmäſsigen Krystallen aber auf die übrigen nicht krystallisirten unorganischen Körper und von diesen dann endlich auf die organischen zu schlieſsen ist zuverlässig um so leichter erlaubt, als überhaupt die nicht krystallisirten Körper durch mancherlei Verbindungen so leicht krystallisirbar werden. Haüy's Theorie giebt indeſs den molécules intégrantes ebene Flächen, und läſst sie mit einander in unmittelbare Berührung kommen. Indem Letzteres aber aus oben angegebenen Gründen unstatthaft ist, so kann auch Ersteres wegfallen, wenn man nur annimmt, daſs sich zwischen den Ato-

---

und das Volumen z. B. des Glases, wobei $k = 0{,}000027$ gesetzt werden kann, wäre also bei $-640°$ C. $= 0{,}983$, mithin betrüge die Verkleinerung nur 0,017 des Ganzen, und letztere Gröſse gäbe zugleich das Verhältniſs der Zwischenräume zu der Masse, so daſs ein Wahrnehmen derselben hiernach von selbst als unmöglich erscheint.

men Zwischenräume befinden. Aus der Erfahrung lassen sich ferner die Formen der Körperelemente nicht bestimmen, weil die Theilbarkeit der Körper allgemein weit über die Grenze der Beobachtung hinausgeht, und SEEBER nimmt daher die Kugelform hypothetisch als die wahrscheinlichste an[1], theils weil sie die einfachste ist, theils weil dann die Richtung der anziehenden und abstoſsenden Kräfte durch die Schwerpuncte geht, mithin keine Rotation entstehen kann, und man hat auſserdem bei der Bestimmung ihres stabilen Gleichgewichtes nur die Lage ihrer Mittelpuncte zu berücksichtigen. Indem endlich die festen Körper durch mechanische Gewalt in Theile getrennt werden können und dadurch weder selbst noch auch die von ihnen abgerissenen Theile den Zustand der Festigkeit verlieren, so folgt hieraus nothwendig, daſs das stabile Gleichgewicht der Elemente nicht von ihrer Gesammtwirkung abhängt, sondern das die Resultate der Wirkungen der Anziehungen und Abstoſsungen von wie vielen Elementen jedes Körpers es seyn möge $= 0$ wird; auch müssen jene einander entgegenwirkende Kräfte auf eine solche Weise jedes Element im stabilen Gleichgewichte erhalten, daſs sie, so lange dieses besteht, zwar sich wechselseitig aufheben, bei veränderter Entfernung der Elemente von einander aber, werde diese vergröſsert oder vermindert, sich wieder thätig zeigen. Dabei wird endlich noch angenommen, daſs die kugelförmigen Atome sich durch die Wirkungen ihrer Kräfte zu parallelepipedischen Kerngestalten oder Elementar-Parallelepipeden ordnen lassen.

SEEBER zeigt dann weiter[2] durch geometrische Construction, wie sich die kugelförmigen Atome zu den Elementar-Parallelepipeden ordnen lassen, eine bei der Voraussetzung hinlänglicher Kleinheit von jener nicht schwierige Aufgabe, giebt ferner einen geometrischen Ausdruck für den Abstand der Mittelpuncte zweier Atome, und sucht endlich eine Function, welche für sehr kleine Veränderungen dieses Abstandes durch 0 in positive oder negative Werthe übergeht und bei noch immer

1 Die durch MITSCHERLICH entdeckte ungleiche Ausdehnung der Krystalle durch Wärme s. Ann. Ch. P. XXVI. 222. scheint übrigens der Annahme prismatisch gestalteter Molecülen günstiger zu seyn, ohne daſs man genöthigt ist, hiermit zugleich unmittelbare Berührung derselben anzunehmen.

2 S. ebend. p. 349.

sehr kleinen Incrementen des Abstandes unmeſsbar kleine, fast verschwindende Werthe giebt. Durch diese scharfsinnige geometrische Untersuchung ist also wirklich ein analytischer Ausdruck gefunden, welcher dasjenige ausdrückt, was wir in der Natur beobachten, nämlich daſs in einem gewissen Abstande der Molecülen fester Körper jene durch keine bewegende Kräfte sollicitirt werden, indem sie ruhen, und also die in ihnen vorhandenen Kräfte durch Gegenwirkung aufgehoben ihnen ein stabiles Gleichgewicht geben müssen; ferner daſs bei einer durch äuſsere Gewalt bewirkten Näherung oder Entfernung der Atome in jenem Falle die Abstoſsung ausnehmend wächst, in diesem aber höchst schnell bis zum Verschwinden abnimmt, welches alles der Erfahrung völlig angemessen ist. Noch mehr aber: es ist sogar nachgewiesen, daſs die an Krystallen gemessenen Winkel mit denjenigen übereinkommen, welche die, die Mittelpuncte der Atome verbindenden Linien mit einander bilden, wenn diese Atome zu den Elementar-Parallelepipeden vereinigt werden; allein hiermit ist die groſse Frage über die Elemente der Körper, die ihnen eigenthümlichen Kräfte und das Verhältniſs, in welchem beide zu der Veränderung ihres festen, tropfbar flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustandes stehen, noch keineswegs entschieden. In dieser Beziehung nämlich stehen auch dieser Theorie noch folgende Argumente entgegen.

1. Daſs sich unter der Voraussetzung der Existenz sphärischer Atome und ihrer Anordnung zu Elementar-Parallelepipeden ein analytischer Ausdruck für ein stabiles Gleichgewicht derselben finden läſst, welcher zugleich für veränderte Entfernungen dieser Elementartheile mit der Erfahrung in einigen wesentlichen Puncten übereinstimmende Werthe giebt, beweiset noch keineswegs die physische Existenz weder jener Molecülen noch ihrer angenommenen Anordnung. Ueberhaupt daſs irgend ein Gesetz sich ohne inneren Widerspruch geometrisch construiren läſst, kann unmöglich das wirkliche Vorhandenseyn desselben in der Natur beweisen, sondern die Geometrie gewährt bloſs demjenigen, was lediglich aus der Erfahrung entnommen seyn muſs, einen deutlichern, bestimmteren und schärferen Ausdruck, wie dieses noch neuerdings durch Mollweide[1] an einem sehr sprechenden Beispiele gezeigt ist.

1 G. LXII. 422.

2. Wenn die Atome aller Körper sphärisch sind und gleichen Gesetzen der Anziehung und Abstoſsung folgen, so können sie zwar zu den verschiedensten Elementar-Parallelepipeden und somit zu den verschiedensten Krystallformen geordnet werden, allein die Anordnung derselben ist bei allen Körpern gleich und willkürlich; die Hypothese erklärt also nicht, warum sie bei gleichen Körpern stets dieselbe und für ungleiche verschieden ist.

3. Wenn das stabile Gleichgewicht der Atome durch den Conflict anziehender und abstoſsender Kräfte bewirkt wird, und die positive oder negative Wirksamkeit dieser letzteren eine Function der Entfernung jener Atome von einander ist, wie dieses der analytische Ausdruck angiebt; woher kommt es dann, daſs bei gröſserer Entfernung der Elemente oder gröſserer Näherung derselben durch erhöhete oder verminderte Temperatur dennoch das stabile Gleichgewicht unverändert bleibt? Die Wärme einer von Auſsen einwirkenden mechanischen Gewalt gleich zu setzen, hat auf allen Fall vieles gegen sich. Hiermit innig zusammenhängend ist

4. die in der Hypothese nicht berührte Frage über den Zusammenhang der Wärme mit den beiden zur Erhaltung des stabilen Gleichgewichtes angenommenen Kräften. Daſs die Wärme auf die Elemente der Körper repulsiv wirke, dieses ist durch die Erfahrung sicherer und untrüglicher begründet, als irgend ein bei jener Theorie angenommener Satz. Sollte also diese vollständig seyn, so müſste das Verhältniſs nachgewiesen werden, in welchem die Wärme mit jenen beiden Kräften, insbesondere aber mit der Repulsion steht, und zwar namentlich ob sie mit dieser letzteren identisch, oder nur ähnlich und ihre Wirkung vermehrend ist, wobei dann die aus dem eigentlichen Wesen beider hergenommene Art und Weise, auf welche dieses geschehen kann, nicht unberücksichtigt bleiben dürfte. Man sieht also, daſs La Place's Hypothese bei der Erklärung des verschiedenen Aggregatzustandes der Körper durchaus nicht unbeachtet bleiben kann, weil sie zu unmittelbar aus der Erfahrung hergenommen ist, als daſs sie bei der Auffindung der Gesetze für die durch Beobachtung aufgefundenen Thatsachen übergangen werden könnte.

5. Es läſst sich endlich zeigen, daſs die Theorie von dem Conflicte anziehender und abstoſsender Kräfte und einem hierdurch

erzeugten stabilen Gleichgewichte in sich nicht consequent ist. Wenn man sich nämlich zwar leicht vorstellen kann, daſs im Conflicte beider ein Zustand der Ruhe, ein stabiles Gleichgewicht, erzeugt wird, so fügt sich dennoch die Erfahrung einer allgemeinen Construction ihrer gegenseitigen Wirksamkeit keineswegs. Um dieses an einem Beispiele zu zeigen, denke man sich einen stählernen Cylinder von beliebiger Dicke und gleichbleibender Temperatur, in welchem also das stabile Gleichgewicht der Atome vorhanden ist. Wird dieser dann durch äuſsere mechanische Gewalt ausgedehnt, wodurch die Atome in gröſsere Entfernung von einander kommen, so wird die Repulsion abnehmen, die Attraction aber zunehmen, schon deswegen, weil die erstere bei gröſserer Annäherung der Atome wächst, und beide einander entgegengesetzt sind. Die Anziehung erhält auch wirklich ihr Maximum, ohne jedoch unendlich zu werden, bis der Körper zerreiſst, und dann werden beide Kräfte $=0$. Dieses liegt an sich nicht im analytischen Ausdrucke, und wenn man zu gleicher Zeit berücksichtigt, daſs bei einem bedeutenden Abstande der Atome in der Dampfgestalt der Körper abermals eine unverkennbare Repulsion wahrnehmbar wird, so führt auch diese Betrachtung wieder auf das Verhältniſs der Wärme zu den beiden Kräften, welches also auf allen Fall bei keiner Hypothese zur Erklärung des verschiedenen Aggregatzustandes der Körper übersehen werden darf.

Aus allen diesen Betrachtungen ergiebt sich also endlich sehr augenfällig, daſs die eigentlichen Ursachen, welche den verschiedenen Aggregatzustand der Körper erzeugen und bedingen, noch keineswegs mit genügender Gewiſsheit erforscht sind, und daſs einem jeden Versuche, diese wichtige Frage zu beantworten, sehr bedeutende, wo nicht unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstehen. Vorläufig aber, und bis zu näherer Aufklärung der Sache bleibt die Hypothese, welche die Wärme als nächste wirkende Ursache ansieht, noch immer der Erfahrung am angemessensten, und man kann sie daher um so mehr beibehalten, als bei der Bestimmung des Wesens der Wärme auch auf die Wirkungen derselben hinsichtlich der Flüssigmachung und Dampfbildung Rücksicht zu nehmen ist.

J. F. Fries hat ohne Widerrede die Theorie von dem Conflicte zweier Grundkräfte mit dem eindringendsten Scharf-

sinne aufgestellt, einer grofsen Menge von Erfahrungen angepafst und am vollständigsten mit innerer Consequenz durchzuführen gesucht. Dafs er auch die Ursachen des verschiedenen Aggregatzustandes der Körper auf dieselben zurückführe, versteht sich wohl von selbst, und in sofern müfsten seine Ansichten hier billig geprüft werden; weil er sich aber dabei vorzüglich auf den gasförmigen Zustand bezieht, so verspare ich diese Untersuchung für den Artikel *Gas*. *M.*

Flugmaschine.

Die Begierde der Menschen, den Vögeln gleich sich in die Luft zu erheben, hat in verschiedenen Zeitaltern Vorschläge und wohl auch Versuche dazu hervorgebracht. Ohne bis zu der Mythe des Dädalus aufzusteigen, begnüge ich mich dasjenige hier beizubringen, was in den neuern Jahrhunderten der P. Franz. Laua vorschlug. Er berechnet, dafs das Gewicht einer luftleeren Kugel von 14 F. Diameter aus Messingblech, (dessen Quadratfufs 3 Unzen wiegt) nur 1848 Unzen betragen würde, während dem ein gleiches Volumen von Luft 2156 Unzen wöge, so dafs die Kugel nicht blofs in der Luft schweben, sondern noch eine Last von 304 Unzen mit sich erheben würde: gröfsere Kugeln von gleicher Metalldicke würden folglich noch mehr leisten. Allein schon früher hatte der Mönch Bacon etwas Aehnliches angegeben, ja sogar behauptet, es mit Erfolg ausgeführt zu haben. Sein Apparat bestand aus mehrern Kugeln von dünnem Kupfer, an denen eine Art Fahrzeug befestigt war. Schon Borelli und Hook haben jedoch das Unausführbare dieser Pläne sowohl in Beziehung auf die Dichtigkeit, und den ungenügenden Widerstand des Kupfers, als auch in Absicht auf die Schwierigkeiten der Exantlirung dargethan.

Was das verflossene Jahrhundert hierin durch die Erfindung der *Aërostaten* geleistet hat, ist unter jenem Artikel zu lesen. Wir beschränken uns in diesem auf dasjenige, was hierin nicht auf hydrostatischem Wege, sondern durch wirkliche Flügelbewegung versucht worden ist.

Aug. Wilh. Zachariä beschreibt am Schlusse seiner Elemente der *Luftschwimmkunst*[1] die Einrichtung eines Modelles,

---

1 Die Elemente der Luftschwimmkunst. 1807. 8.

das sein Bruder, Christ. Friedr. Zachariä, verfertigt hatte, und welches einen kleinen mit beweglichen Flügeln ausgerüsteten Fallschirm aus Fischbeinstäben und Taffent vorstellte. Der Flügelschlag wurde durch Federn und Räderwerk hervorgebracht, war aber nicht vermögend, das Gestelle schwebend zu erhalten, obgleich die Maschine, wenn sie mit der Hand gehalten wurde, bei jedem Flügelschlage, der sich etwa in einer Secunde wiederholte, einen merklichen Ruck aufwärts machte.

Einer besondern Beachtung werth sind sie Versuche, welche der Uhrmacher Jacob Degen in Wien im Jahr 1808 daselbst mit einer von ihm erfundenen Flugmaschine anstellte[1]. Wenn diese auch noch Manches zu wünschen übrig liefs[2], so leistete sie doch den Thatbeweis, dafs der Mensch durch Flügelschläge einen beträchtlichen Theil seines Gewichts überwinden könne. Sein Apparat enthielt zwei Flügel, deren Gerippe aus Bambusrohr, die Oberfläche aus feinem gefirnisten Papiere bestand. Die Länge eines jeden betrug 10 Fufs 4 Zoll, die gröfste Breite 9 Fufs; seine Oberfläche hielt 54 Quadratfufs. Sie glichen einem beinahe runden Schirme, der nach der äufsern Seite hin in eine zugespitzte Verlängerung ausgezogen ist. In jedem Flügel befanden sich 3500 papierne Klappen, die an Seidenfäden befestigt, nach unten sich öffneten. Alles war durch seidene Schnüre, die an einem aufrechten Stabe wie an einem Mastbaume sich vereinigten, hinreichend gespannt und gesteift. Die Ebene der Flügel befand sich etwa in der Höhe des Halses des aufrecht stehenden Fliegenden, und das Gestell war fest mit seinem Körper verbunden, ohne jedoch irgend eine seiner Bewegungen zu hemmen. Sehr zweckmäfsig hatte der Künstler die gröfste Kraft benutzt, die der Mensch mit seinen Gliedern äufsern kann, indem er ihn mit den Füfsen, wie zum Sprunge gerüstet, einen Rahmen niedertreten liefs, der die Flügel niederschlagen machte[3]. Mit diesem Apparate

---

1 Beschreibung einer neuen Flugmaschine von Jacob Degen. Wien 1808. Mit 1 Kupfert.; und in G. XXX. 1. und XXXI. 192. die Nachrichten von J. Chr. Stelzhammer.

2 Man sehe die Bemerkungen von Prechtl in G. XXI. 320.

3 Borelli setzt die beim Sprunge wirkende Muskelkraft auf das 2900fache Gewicht des Menschen. Es ist bekannt, dafs Fuhrleute einen schweren Wagen dadurch herumheben, dafs einer auf der Erde liegend, die Füfse gegen die eine Axe desselben anstemmt,

machte Degen die ersten Versuche in der Kaiserlichen Reitschule zu Wien, indem er durch ein von der Decke herunterhängendes Gegengewicht seine Last etwa um die Hälfte erleichterte. Er selbst wog 119 Pf., die Maschine 25 Pf., das Gegengewicht 75 Pf., die Reibung über die Rollen 9 Pf., so daſs er also $119 + 25 + 9 - 75 = 78$ Pf. durch den Flügelschlag zu erheben hatte; er erhob sich daselbst durch etwa 34 Schläge in 30 Secunden auf eine Höhe von 50 Fuſs, was etwa $1\frac{1}{2}$ Fuſs Erhebung durch einen Flügelschlag giebt. Bei einem spätern Versuche hatte sich der Künstler mittelst eines Aërostaten von 19 Fuſs Durchmesser, der ihn nur eben zu tragen vermochte, bis zu 40 und zu 105 Klaftern erhoben, und war, nachher vom Balle sich losmachend, ganz allmälig heruntergeflogen: das Sinken geschah so langsam, daſs kein Zuschauer Besorgnisse empfand; der Künstler konnte sogar zuweilen ausruhen und dann durch neue Flügelschläge sich wieder erheben; er konnte sich umwenden, selbst vom Winde ohne Flügelschlag erheben lassen; und kam in beiden gemachten Versuchen ohne alle Beschädigung zur Erde.

So groſs auch die Schwierigkeiten seyn mögen, die dem Fluge des Menschen, den Borelli schlechterdings für unmöglich erklärt, sich entgegensetzen, so beweisen doch die angeführten Versuche sowohl die Wirksamkeit des Flügelschlags, als auch die Fähigkeit des Menschen, ihn bei gehöriger Einrichtung ohne allzu groſse Ermüdung mit ziemlicher Kraft fortzusetzen. Künftige Geschlechter werden nach Franklin's Ausdrucke *das Kind groſs ziehn*, und schwerlich dürften die bisherigen Anfänge der Luftbeschiffung von ihrem Ziele so weit abstehen, als die Versuche der ersten Schiffer von der jetzigen Vollkommenheit der Hydronautik. *H.*

Fluor.

Fluorine; *Fluorum;* Fluor; *Fluor.* Ein Stoff, welchen man nicht für sich kennt, dessen Gegenwart man je-

---

und durch Ausstrecken der etwas eingezogenen Beine die Last emporhebt. Bei einem Versuche mit dem Dynamometer, dessen oberes Ende durch einen um die Hüften befestigten Riemen, das untere von dem unter die Füſse gelegten Eisen gespannt wurde, zerriſs der eiserne Haken, und das Dynamometer zeigte die Kraft des seine Knie und Hüftgelenke ausspannenden jungen Mannes auf 800 Pf. an.

doch im Flufsspath, Kryolith, Topas, der Flufssäure und andern Materien hypothetisch annimmt, und der in seinen chemischen Beziehungen am meisten Aehnlichkeit mit dem Chlor hat. Seine wichtigsten Verbindungen sind folgende:

Die *Flufssäure* (18,6 Fluor und 1 Wasserstoff) durch Destillation von Flufsspath (Fluorcalcium) mit Vitriolöl in Gefäfsen von Blei oder Platin in wasserfreiem Zustande dargestellt, ist eine wasserhelle Flüssigkeit von 1,0609 specifischem Gewichte, bei — 20° noch nicht gefrierend, an der Luft rauchend, etwas über + 15° kochend, von geringer lichtbrechender Kraft, und von stechendem Geruch, deren Dämpfe beim Einathmen der Lunge höchst nachtheilig sind, und welche auf der Haut heftige Entzündung und Vereiterung mit Wundfieber erregt. Sie bildet mit Kalium und mehreren anderen Metallen, unter Freiwerden des Wasserstoffes, Fluormetalle; desgleichen mit Kalk, Kieselerde u. s. w. unter Bildung von Wasser. Hierauf beruht das Aetzen in Glas; denn da dieses neben Alkali gröfstentheils aus Kieselerde besteht, so zersetzt sich die Flufssäure damit im Fluorsiliciumgas, Fluorsiliciumnatrium und etwas Wasser.

Dieses *Aetzen in Glas*, welches durch geringe Uebung zu einer grofsen Fertigkeit gebracht werden kann, und zur Verfertigung von allerlei Scalen von grofsem Nutzen ist, geschieht zwar auch durch Anwendung der liquiden Flufssäure, leichter und schneller aber mit flufssauren Dämpfen auf folgende Weise. Das zu ätzende Glas mufs zuvor bestens gereinigt seyn, was am leichtesten mit frischer Holzasche und Wasser geschieht, indem man es hiermit abreibt, dann mit reinem Wasser abspühlt und mit einem reinen leinenen Lappen trocknet. Hiernach wird das Glas über Kohlen erwärmt, und mit einem Deckfirnifs überzogen[1], welcher nur dünn aufzutragen ist, indem man ihn der Gleichförmigkeit wegen auch mit der Fahne einer Rabenfeder aus einander ziehen kann. Den Firnifs kann man sich für viele Jahre in Voraus bereiten. Zu diesem Ende schmelzt man 2 Th. weifses Wachs, 1 Th. Mastix, ½ Th. Asphalt und fast ½ Th. venet. Terpentin bei sehr gelindem Feuer in einem

---

1 Das Decken des Glases mit Blattgold oder blofsem Wachs ist theils mühsamer, theils minder sicher, und wird daher hier nicht weiter berücksichtigt.

neuen Topfe, erhält die Masse wohl eine halbe Stunde bei gelinder Wärme im Fluſs, damit der Schmutz zu Boden fällt, gieſst den obern Theil der Masse in ein Gefäſs mit kaltem Wasser, worin sie sich zu einem unförmigen Klumpen vereinigt, formt einen solchen mit den Fingern zu einer Kugel von der Gröſse eines kleinen Hühnereies, schlägt diese in ein Läppchen von Taffent, und bindet die Ränder des Taffents zu einer Art Stiele zusammen, in welchen man des bequemern Anfassens wegen auch einen kleinen hölzernen Stab senken kann. Beim Gebrauche wird die eingeschlagene Masse Firniſs durch das erwärmte Glas hinlänglich flüssig, um durch den Taffent zu dringen, und sich auf das Glas zu legen, insbesondere wenn man das Ueberziehen über Kohlen vornimmt. Nach dem Erkalten des Firnisses kann das Radiren der erforderlichen Striche, Buchstaben, Figuren u. s. w. mit jedem beliebigen metallenen, spitzeren oder stumpferen Instrumente, am besten einem stählernen, in der erforderlichen Feinheit oder Breite leicht bewerkstelligt werden, und man überzeugt sich davon, daſs der Firniſs ganz durchschnitten sey, wenn man das Glas gegen das Licht hält, und den eigenthümlichen Glanz der radirten Stellen beobachtet. Demnächst wird der Fluſsspath gepulvert, in einen gemeinen hessischen, Graphit-, Platin- oder bleiernen Tiegel oder nur einen irdenen Topf geschüttet und mit gleichviel Vitriolöl befeuchtet, wobei man, wenn Glasröhren oder schmale Scalen zu ätzen sind, den Tiegel mit zwei Bretchen bedecken kann, um zwischen diesen den erforderlich breiten Raum zum Aufsteigen der fluſssauren Dämpfe zu lassen. Der so vorgerichtete Tiegel wird über gelindem Kohlenfeuer erhitzt, worauf man bald die weiſslichen Dämpfe aufsteigen sieht. In diese wird das zu ätzende Glas gehalten, bis es etwas feucht wird, und die radirten Stellen nicht mehr glänzend, sondern blind und etwas weiſslich erscheinen. Wird das Aetzen zu lange und bei zu starker Gasentwickelung fortgesetzt, so dringt die Säure unter den Firniſs, und macht auch die bedeckten Stellen rauh. Glaubt man aber, daſs tief genug geätzt sey, so erwärmt man das Glas wieder, reinigt es von dem Firniſs durch Abwischen mit Flieſspapier, wobei man auch etwas Terpentinspiritus zu Hülfe nehmen kann, und die Arbeit ist vollendet. Will man die Scalen deutlicher machen, so kann man etwas Tusche mit Wasser in die Vertiefungen einreiben, gewöhnlicher

aber befeuchtet man etwas Zinnober mit einigen Tropfen Terpentinspiritus, reibt dieses mit dem Finger in die Scale ein, und kann zuletzt auch noch etwas trocknen Zinnober vermittelst Baumwolle nachtragen, wodurch das Glas nebst der Scale ein lebhafteres und feineres Ansehen erhält. Durch langen Gebrauch und vieles Reinigen wird der Zinnober aus den Vertiefungen der Scale entfernt, kann aber durch das angegebene Verfahren wieder hergestellt werden. Endlich füge ich dieser Anweisung noch hinzu, daſs am besten das ganze Glas, worauf geätzt werden soll, mit Firniſs bedeckt wird, damit die Säure es nicht irgendwo blind mache, desgleichen daſs das Schmelzen des Aetzgrundes durch zu starke Hitze zu vermeiden ist, auch muſs man vorsichtig das Einathmen der sauern Dämpfe vermeiden, weswegen die Arbeit am besten an einem Orte vorgenommen wird, wo ein schwacher Luftzug dieselben von dem Operirenden entfernt[1].

Die Fluſssäure mischt sich mit Wasser unter heftiger Erhitzung, und zwar mit solcher Verdichtung, daſs das Gemisch bei einem gewissen Verhältnisse ein specifisches Gewicht von 1,250 zeigt. Sie bildet mit denjenigen Salzbasen, mit welchen sie sich nicht sogleich in Fluormetall und in Wasser zersetzt, die fluſssauren Salze, welche beim stärkern Erhitzen meistens ebenfalls in Fluormetalle und verdampfendes Wasser zerfallen. Dieselben entwickeln mit Vitriolöl fluſssaure Dämpfe, welche das Glas angreifen; sie lösen sich sobald die Salzbasis nicht vorherrscht, in Wasser auf; auch sind viele derselben unter einander zu Doppelsalzen verbindbar.

Des *Fluorborons* ist Bd. I. S. 1100 Erwähnung geschehen. Die Verbindungen des Fluors mit den Metallen, die *Fluormetalle*, kommen theils natürlich vor, theils werden sie durch Zusammenbringen von Fluſssäure mit einem Metalle oder Metalloxyde erhalten. Sie zeigen nie Metallglanz und sind meistens leicht schmelzbar und das Fluorsilicium ist sogar gasförmig. Sie erleiden keine Zersetzung, für sich oder mit Kohle oder mit wasserfreier Phosphorsäure geglüht. Beim Glühen mit Boraxsäure entwickeln sie Fluorborongas, und beim Erhitzen mit wasserhaltender Schwefelsäure dampfförmige Fluſssäure. Mehrere lösen sich in Wasser auf, öfters unter Abscheidung eines

---

1 Vergl. Lichtenberg im Gött. Taschenkalender 1789. S. 138.

Theils erzeugten Metalloxyds, so dafs dann die Lösung überschüssige Flufssäure enthält.

So wie beim Chlor läfst sich auch beim Fluor die Ansicht durchführen, die Flufssäure, so wie sie durch Destillation des Flufsspathes mit Vitriolöl erhalten wird, sey eine Verbindung von Wasser mit einer hypothetisch trockenen Flufssäure, welche aus Sauerstoff und einem hypothetischen brennbaren Körper, dem Fluorium oder Fluoricum bestehe; der Flufsspath wäre hiernach eine Verbindung von Kalk mit der hypothetisch trockenen Flufssäure, welche Säure, da sie mit sehr grofser Affinität gegen die Salzbasen begabt sey, unter allen trockenen Säuren blofs durch die trockene Boraxsäure ausgetrieben werden könne, sofern hierbei die trockene Flufssäure mit einem Theile der angewandten Boraxsäure eine innige Verbindung zu flufsboraxsaurem Gas (unserm Fluorboron) einzugehen vermöge. Vitriolöl zersetze den Flufsspath, weil dessen Wasser sich mit der hypothetisch trockenen Flufssäure zu der oben beschriebenen liquiden Flufssäure vereinige, während die Schwefelsäure den Kalk aufnehme. Nach dieser Ansicht wären endlich alle Fluormetalle, namentlich auch das Fluorsilicium, als Verbindungen der hypothetisch trockenen Flufssäure mit Metalloxyd zu betrachten.

G.

F l u f s.

Fluxus; Flux; *Flux*. Mit diesem Ausdrucke belegt man

1. *den geschmolzenen Zustand einer Materie.* Man spricht z. B. von einem dünnen und zähen Flufs, desgleichen von einem wässerigen und einem feuerigen Flufs, in welchen verschiedene Materien durch Erhitzen kommen.

2. Auch versteht man unter Flufs oder Glasflufs mehrere feine Gläser, die besonders zum Nachahmen der Edelsteine dienen, wohin der *Strafsburger Flufs* gehört.

3. Endlich nennt man solche Materien Flüsse oder Flufsmittel, Schmelzungsmittel oder die Schmelzung befördernde *Zuschläge*, welche dienen, strengflüssigere Körper dadurch schmelzbar zu machen, dafs sie sich mit ihnen zu einer leichtflüssigen Verbindung vereinigen. Um z. B. die Kieselerde, die vielen Erzen beigemengt ist, schmelzbar zu machen, fügt man alkalische Substanzen hinzu, im Kleinen vorzüglich kohlensaures Kali und Natron, Borax, Salpeter, gebrannten Kalk,

Flufsspath, Glas, oder Gemenge von diesen Substanzen; im Grofsen kohlensauren Kalk, Flufsspath u. s. w. Umgekehrt dient Kieselerde als Flufs, wenn das Erz Kalk enthält. Beim Gattiren der Erze werden Erze, denen verschiedenartige für sich bei dem gegebenen Feuer unschmelzbare Erden (z. B. einerseits Quarz und Thon, andererseits Kalkstein und Schwerspath) beigemengt sind, in dem Verhältnisse zusammen verschmolzen, dafs sich diese Beimengungen wechselseitig schmelzbar machen, und es wird somit ein weiterer Zusatz an Flufs erspart. Hält ein Flufs Kohle beigemengt, welche dem im Erze enthaltenen schweren Metalloxyde den Sauerstoff zu entziehen hat, so heifst er ein *reducirender* Flufs. Hierher gehört der im Kleinen gebräuchliche *schwarze Flufs*, durch Verpuffen von 1 Theil Salpeter mit 2 Theilen Weinstein erzeugt, während der aus gleichen Theilen dieser Mittel erhaltene *weifse Flufs* durch Gehalt an überschüssigem Salpeter oxydirend wird. *G.*

Flufs, S. Strom.
Fluth, S. Ebbe.

Folge der Zeichen.

Ordo signorum coelestium, *Consecutio signorum*; Ordre des signes; *Order of the Signs*, ist zunächst nichts anderes, als die Ordnung der Zeichen in der Ekliptik, wo nämlich der Widder dem Stiere, dieser den Zwillingen vorangeht, und so fort. Diese Ordnung ist die richtige Folge der Zeichen in sofern, als die Sterne des Widders früher als die Sterne des Stiers, die Sterne des Stiers früher als die Sterne der Zwillinge durch den Meridian gehen. Man sagt daher von einem Gestirn, es bewege sich nach der Ordnung der Zeichen, nach der Folge der Zeichen *(in consequentia)* oder sey **rechtläufig** *(directus)*, habe eine rechtläufige Bewegung *(motus directus*, mouvement direct; *forward or direct motion)*, wenn es von einem Zeichen zu dem ihm, jener Ordnung gemäfs, *folgenden* Zeichen übergeht, oder wenn die Längengrade auf der Ekliptik nach eben der Ordnung fortgezählt werden, indem die Länge des Gestirns (es mag nun n oder aufser der Ekliptik sich bewegen) wächst. Ein Himmelskörper bewegt sich *gegen* die Folge der Zeichen, *(in an-*

tecendentia seu praecedentia), wenn er aus dem Stier in den Widder, aus dem Widder in die Fische u. s. f. übergeht, wenn seine Länge abnimmt; und dann heifst seine Bewegung rückläufig (*retrogradus motus*; mouvement retrograde; *a backward motion*). Wenn wir, mit dem Gesichte nach Süden gekehrt, den Himmel ansehen, so steht jedes folgende Zeichen der Ekliptik uns mehr links, und die Folge der Zeichen geht daher von der Rechten zur Linken. Denken wir uns im Mittelpuncte der Erde, und stellen uns vor, wir übersähen von dort aus den ganzen Himmel, so würde, wenn unser Kopf stets nach Norden gerichtet bleibt, allemal das vorangehende Gestirn mehr rechts, das nachfolgende mehr links, vor uns stehen.

Betrachtet der im Mittelpuncte der Erde stehende Beobachter die Puncte auf der Oberfläche der Erde, so sieht er diese, vermöge der Rotation, nach der Folge der Zeichen fortrücken, und folglich stimmt die Umdrehung der Erde mit der Ordnung der Zeichen überein. Wenn wir dagegen von der Erde aus die Rotation der Sonne beobachten, so sehen wir ihre Flecken nach und nach von Osten nach Westen, oder von der Linken gegen die Rechte fortrücken; aber dennoch ist diese Bewegung in der Wirklichkeit eine rechtläufige, das heifst, einem Beobachter im Mittelpuncte der Sonne erscheint eben diese Bewegung nach der Folge der Zeichen. Könnten wir nämlich den Sonnenfleck auch an der von uns abgewandten Seite der Sonne seine Bewegung fortsetzen sehen, so würde sie uns da von der Rechten nach der Linken gehend, ebenso, wie ein Beobachter im Mittelpuncte C der Sonne sie sähe, erscheinen, wovon man sich leicht durch den Anblick der Figur überzeugt, wenn man den Beobachter auf der Erde sich in A denkt, und den von b nach b′, b″, b‴, b⁗, b′⁗, fortgehenden Sonnenfleck verfolgt. Aus eben den Gründen würde, selbst wenn die Erde in A ruhete, die Venus b in dem nähern Theile ihrer Bahn als rückläufig erscheinen, in dem entferntern als rechtläufig. Eben so sehen wir die Jupitersmonde, wenn sie diesseits des Planeten vorbeigehen, in scheinbar rückläufiger Bewegung, und schliefsen daraus auf ihre wirklich rechtläufige Bewegung.

Fig. 76.

Wie es zugeht, dafs auch bei den oberen Planeten eine

scheinbar rückgängige Bewegung eintreten kann, wird im Art. *Planeten*, erklärt; der Beweis, dafs auch der Mond eine nach der Folge der Zeichen gehende Rotation habe, im Art. *Mond*.

B.

Friction, S. Reibung.

Frost.

frigus; *gelu*; gélée, *frost*. Die Temperatur der Luft, bei welcher Wasser im Freien gefriert, im Allgemeinen gleichbedeutend mit *Kälte*. Wenn diese jedoch mehr eine andauernde Beschaffenheit der Witterung bezeichnet, so werden unter *Frost* meistens nur die geringeren Grade einer zufälligen Kälte verstanden, wie sie in gelindern Jahreszeiten statt findet. Oft auch wird das Wort für den Actus des Gefrierens, und die Wirkung derselben gebraucht.

Vom *Gefrieren* und den damit verbundenen Erscheinungen ist oben beim Art. *Eis*[1] die Rede gewesen. Wir erwähnen hier vornehmlich der *Nacht*- oder *Morgenfröste*, die im Frühling oder Herbst sich einfinden, und durch das Ungewöhnliche und Unvorbereitete ihres Eintreffens den Gewächsen in vorzüglichem Grade verderblich werden. Sie sind gemeiniglich die Folge einer durch anhaltenden Regen, und in den Gebirgen wohl auch durch Schneefall bewirkte Erkältung der Atmosphäre. Indem der, während des Regens im westlichen Europa vorherrschende, Westwind allmälig nach Norden umgeht, wird eine trocknere Luft herbeigeführt; es erfolgt Aufheiterung, und wenn diese des Nachts oder am Morgen früh eintritt, eine beträchtliche Wärmeausstrahlung des Bodens, deren erkältende Wirkung noch durch den Verdunstungs-Procefs der feuchten Erde und der nassen Pflanzen erhöhet wird. Geht die Temperatur unter + 2° R. herab, so bildet sich *Reif*, der jedoch den inländischen Gewächsen wenig schadet; indem das Geistige ihres Saftes selbst einer Kälte von — 1 bis 2 Graden widersteht. Das anhängende und eingesogene Wasser beschleunigt jedoch das Gefrieren, daher solche Temperatur-Wechsel nach dem Regen viel bedenklicher sind, als bei trockenem Wetter. Besonders nachtheilig wird dann das plötzliche Aufthauen des

---

[1] S. Th. III. S. 99 ff.

Eises durch die Strahlen der Morgensonne, indem die von dem gefrornen Wasser ausgedehnten Gefäſse sich nicht wieder allmälig zusammenziehen und ihre frühere Organisation herstellen können. Die plötzliche Erwärmung reizt die Pflanze zu einem erneuerten Kreislaufe der Säfte auf, ehe diese vom Hauptstamme zugeführt werden können. Daraus erfolgt Ueberreizung und Absterben der zärteren Theile des Gewächses. Oft auch bewirkt, zumal ein starker Winterfrost, mechanisch durch die Ausdehnung der gefrierenden Flüssigkeit das Zerspringen der Gefäſse, und spaltet selbst die Stämme der Bäume.

Der bedeutende Schaden, welchen in den nördlichen Gegenden der gemäſsigten Zone, die Frühlingsfröste an verschiedenen, einem milderen Klima angehörigen Gewächsen, z. B. dem Weinstock anrichten, hat schon verschiedene Vorschläge in Anregung gebracht, wie diesem Ereigniſs, das nicht immer ganz unvorgesehen kommt, zu begegnen sey. Man hat angerathen, auf der einen Seite des Weinberges ein starkrauchendes Feuer anzuzünden, da dann der Wind den feuchten Rauch über jenes Stück Landes verbreiten, und dieser die Kälte mäſsigen würde. Allein bei Windstillen fällt jene Voraussetzung weg, und dann zumal sind die Fröste gerade am heftigsten. Eben so sollte eine Art künstlicher Regen durch Bespritzen mit Wasser die Kälte absorbiren. Allein diese Vorschläge gewähren immer nur eine sehr partielle und höchst ungewisse Hülfe; die Hauptsache ist, die Wärme-Ausstrahlung der Pflanzen zu verhindern, welche sie in eine noch niedrigere Temperatur versetzt, als die umgebende Luft hat. Ohne diese, erst durch Wells's Untersuchungen über den Thau thatsächlich erwiesene Theorie zu kennen, hat die Erfahrung einige Agrocultoren auf die Idee gebracht, die einzelnen Pflanzen mit einem darüber aufgesteckten Strohwisch, der sich mantelförmig über sie ausbreitet, zu schützen, oder auch ganze Pflanzungen durch Tücher, welche an hohen Stangen theilweise über dieselben ausgebreitet werden, vor dem directen Anblick des Himmels zu verwahren. Eben diese Verdeckung scheint auch dem Vorschlage der Obstpflanzer zum Grunde zu liegen, daſs man die Pfirsichspaliere mit Tannenreisig bestecken solle, um die schädlichen Wirkungen des Frostes abzuhalten.

H.

Frostdampf.

Von dieser Erscheinung, die hauptsächlich in den Polarmeeren sich zeigt, ist in diesem Werke bereits beim Art. *Eis*[1] das Nöthige beigebracht worden. Sie scheint durch eine plötzliche Temperatur-Erniedrigung der Luft hervorgerufen zu werden, und ist ein Niederschlag der aus dem wärmeren Wasser entwickelten Dünste, besonders wenn diese durch Bewegung des Wassers im Uebermaſs hervorgelockt werden. Daher zeigt sich der Frostdampf auf dem Meere nur bei frischem Winde, und bildet daselbst eine für die Seefahrer eben so unangenehme als gefährliche Nebelschicht von etwa 80 Fuſs Höhe. Auf den Flüssen erscheint er gemeiniglich des Abends, wenn die Kälte sich verstärkt. Auf den gewöhnlichen Seen findet er sich nicht, weil dort zu seiner Bildung Wind erforderlich wäre, welcher bei der geringen Ausdehnung solcher Gewässer den Nebel bald entführen würde. *H.*

Frühling.

Frühjahr, *Lenz*; *Ver*; Printems, *Spring*. Eine der vier Jahreszeiten, die im Deutschen (wie im Englischen) von der alsdann sich erneuernden Pflanzenwelt ihren Namen zu haben scheint. Der Frühling folgt dem Winter; wenn es Frühling wird, so keimen alle Pflanzen hervor, die Bäume bekommen junges Laub, Blüthen u. s. w.

Der Anfang des Frühlings wird dann gerechnet, wenn die Sonne sich über den Aequator des Himmels erhebt, und daher ist es auf der ganzen nördlichen Halbkugel der Erde **Frühlings-Anfang**, wenn die Sonne in die nördlichen Zeichen der Ekliptik tritt, oder sich im Nullpuncte des Widders, im Puncte der **Frühlings-Nachtgleiche** befindet, welches um den 20. März geschieht. Dann ist der Tag der Nacht gleich, und die Tage sind im Zunehmen. Der Frühling dauert bis zu dem längsten Tage, da die Sonne ihre gröſste nördliche Declination erreicht hat; sie befindet sich dann im Nullpuncte des Krebses, sie erreicht ihren höchsten Stand am Himmel und es ist *Sommers Anfang*. Auf der südlichen Halb-

---

1 S. Th. III. S. 142.

kugel der Erde steht die die Sonne dann am tiefsten, wenn sie uns am höchsten steht; daher ist dort Frühlings-Anfang um den 23. Sept. und der dortige Frühling dauert bis zum 21. Dec., wo die Sonne dort ihren höchsten Stand erreicht.

Diese Bestimmung gilt nur für die gemäſsigte, und mit gewissen-Modificationen für die kalte Zone. In der heiſsen Zone befolgen die Jahreszeiten eine andere, besonders von der Regenzeit abhängende, Ordnung, und da es dort keinen eigentlichen Winter, keine so auffallende Unterbrechung der Vegetation giebt, so lassen sich unsere Ausdrücke, welche auf Gegenden, die weit von der heiſsen Zone entfernt liegen, eingerichtet sind, dort nicht gerade zu gebrauchen.

Obgleich wir aber im astronomischen Sinne den Anfang und das Ende des Frühlings als an gewisse Tage geknüpft ansehen, so ist doch der meteorologische Eintritt des Frühlings davon oft sehr verschieden. Allerdings ist die Zeit der Nachtgleiche ungefähr auch der Zeitpunct, wo bei uns angenehme, milde Witterung, Frühlingswitterung, eintritt; aber dennoch kann sich der Winter eben so gut über diesen Zeitpunct hinaus verlängern, als von der andern Seite, ein früher Frühling, schon vor jenem Zeitpuncte eintreten kann. *B.*

Frühlingsnachtgleiche.

Aequinoctium vernum; Équinoxe du printems; *Vernal Equinoxe.* Die Zeit der Frühlingsnachtgleiche ist der Augenblick, da die Sonne den Durchschnittspunct der Ekliptik und des Aequators erreicht, von welchem an sie sich nördlich vom Aequator entfernt, und den Anfang unsers Frühlings hervorbringt. Da die Sonne dann für die ganze Erde im Aequator des Himmels erscheint, und ihr Tagekreis mit dem Aequator zusammenfällt, so verweilt sie für alle Gegenden der Erde gleichmäſsig 12 Stunden über und 12 Stunden unter dem Horizonte. *B.*

Frühlingspunct.

Punct der Frühlingsnachtgleiche, Widderpunct, erster Punct, oder Nullpunct des Widders; *Punctum aequinoctii verni*,

Punctum primum arietis; Équinoxe du Printems, Prémier point du belier; *the aequinoctial Point.* — Derjenige Durchschnittspunct der Ekliptik mit dem Aequator, in welchem die Sonne anfängt, sich nördlich von der Ekliptik zu entfernen. Die Sonne erreicht diesen Durchschnittspunct allemal um den 21. März und die Einrichtung unserer Schaltjahre dient dazu, diesen Tag mit jenem Phänomene zusammenstimmend zu erhalten. Da von hier an die Grade der Ekliptik gezählt werden, und der Widder, als die ersten 30 Grade einnehmend, angegeben wird, so ist jener Punct der Anfangspunct oder Nullpunct des Widders, oder 0° ♈.

Dafs dieser Punct in sehr alter Zeit in das Sternbild des Widders fiel, aber sich jährlich um etwas weniges, immer mehr davon entfernt, wird im Art. *Vorrücken der Nachtgleichen* weiter erklärt werden. Wie es mit grofser Genauigkeit gefunden wird, zeigt Bessel bei der Berechnung von Bradley's Beobachtungen[1]. Seine jetzige Lage ist zwischen dem Schwanze des südlichen Fische und dem Schwanze des Wallfisches. Die Grade des Aequators sowohl als die Grade der Ekliptik werden von ihm an nach der Folge der Zeichen[2] fortgezählt. *B.*

Funke, elektrischer.

Scintilla electrica; Étincelle électrique; *Electrical spark.* Die bei der elektrischen Wechselwirkung zwischen zweien Körpern in den Zwischenräumen zwischen denselben Statt findende, und durch diese elektrische Wechselwirkung selbst wesentlich bedingte schmale, zusammengehaltene, cylindrische Lichterscheinung, welche auch bei Tage sichtbar von einem knisternden Laute begleitet ist, und augenblicklich vorübergeht, wird mit dem Namen des *elektrischen Funkens* bezeichnet.

Es ist bereits von demselben, als einer der Formen, unter welcher sich die E. von einem Körper an den andern mittheilt, unter dem Artikel *„Elektricität“* und zwar in dem Abschnitte *„Mittheilung“* [3] und auch unter dem Artikel *„Elektrisir-*

---

1 Fundamenta astronomiae pro anno 1755 deducta ex observat. cel. Bradleyi. Regiom. 1818.

2 S. Art. *Folge der Zeichen.*

3 S. Bd. II. 268.

Maschine" in dem Abschnitte „*Wirkungen derselben*" [1] im allgemeinen gehandelt worden. Hier mögen noch einige an diesen beiden Orten übergangene Bestimmungen dieses merkwürdigen Phänomens nachträglich am besten ihren Platz finden.

I. Die Erfahrungen.

Die el. Lichterscheinungen sind sehr mannigfaltig von Ansehen und Form, und in ihrem schnellen Vorübergehen kaum stets mit Bestimmtheit aufzufassen. Es sind in dieser Hinsicht eine Menge Stufen von dem ersten Auftreten eines leckenden el. Lichtes, welches einen entweder ursprünglich vorzüglich durch Reiben oder durch Mittheilung el. Körper umgiebt, und gleichsam an demselben mehr haftet, durch die einfachen oder mehr büschelförmigen Ausstrahlungen und Feuerpinsel von den verschiedensten Graden der Ausbreitung bis zu den stärksten Funken, verbunden mit den mannigfaltigsten Modificationen des *Glanzes*, der *Farbe*, und des dieselben begleitenden *Geräusches*, die theils durch die verschiedene Intensität, Quantität und Qualität der Elektricität selbst, theils durch die Form, Ausdehnung und sonstige Beschaffenheit der Körper, an welchen die E. auftritt, endlich durch die Ausdehnung und Beschaffenheit des Zwischenraumes, in welchem die Lichterscheinung vorkommt, bestimmt werden, dergestalt, dafs die kleinste Abänderung in diesen Umständen eine Modification dieses beweglichsten aller el. Phänomene bedingt.

Nicholson [2] hat in einem kleinen Aufsatze eine Menge solcher sich mannigfaltig verändernder Lichterscheinungen beschrieben, deren Veränderung theils durch die Schnelligkeit, mit welcher die Maschine gedreht wurde, und die davon abhängende Intensität der die Lichterscheinung zeigenden Kugel, theils durch die Gröfse dieser Kugel, und die verschiedene Entfernung, in welcher eine Spitze derselben entgegengehalten ward, bestimmt wurden. Das besonders merkwürdige hierbei war, eine el. *Licht-Atmosphäre* oder ein heller Kreis leckenden Lichtes rund umher an der Oberfläche der 2,5 Zoll im Durchmesser haltenden Kugel mit ausfahrenden Büscheln, wenn eine Spitze in grofser Entfernung

1 S. Bd. III. 457.
2 G. XXXII. 106.

gehalten wurde, bei deren Annäherung die Büschel verschwanden, und ein ausnehmend glänzender Fleck an der Oberfläche der Kugel zum Vorschein kam, der manchmal an einer Stelle blieb, andere Male sich umher bewegte, bis endlich bei noch grösserer Annäherung aus diesem Fleck *ramificirte Funken* ausstrahlten und ein leckender, leuchtender, Kreis erschien, wobei der glänzende Fleck nie im Mittelpuncte dieses Kreises war, sondern in einiger Entfernung rund um den Kreis sich bewegte, unregelmäfsig, manchmal nach einer, andere Male nach entgegengesetzter Richtung, manchmal auch ganz still stand.

Ich habe diese Beobachtungen absichtlich an die Spitze dieses Artikels gestellt, um das Wandelbare, und in bestimmten Darstellungen schwer zu fixirende in diesen el. Lichterscheinungen recht klar zu machen. So lassen sich dann auch die Funken kaum durch eine scharfe Grenzlinie von den ihnen in einigen ihrer Modificationen so nahe stehenden el. Ausstrahlungen, Büscheln und Pinseln trennen, wenn gleich da, wo sie in ihrer reinsten Form auftreten, kein Zweifel über die Eigenthümlichkeit dieser el. Lichterscheinungen obwalten kann. In dieser reinsten Form erscheinen sie als ein gerader, glänzender, weifser, plötzlich vorübergehender, Lichtcylinder mit einem eigenthümlichen Knalle bei der Ausgleichung der an einem vollkommenen Leiter angehäuften + oder — E von der abgerundeten Oberfläche desselben aus gegen einen demselben genäherten, in seinem natürlichen el. Zustande sich befindenden, gleichfalls eine abgerundete Oberfläche darbietenden, vollkommen mit dem Erdboden verbundenen Leiter, also unter den für die Wiederherstellung des el. Gleichgewichts günstigsten Bedingungen, und zwar in einer Weite, die nach der Beschaffenheit und Intensität der an dem Leiter angehäuften E., der Ausdehnung desselben und dem Durchmesser der kugelförmigen Oberfläche seines Endes eine verschiedene ist. Das Nähere über den Einflufs dieser Umstände auf die Länge des Funkens oder die sogenannte *Schlagweite* ist schon unter dem Artikel „*Elektrisir-Maschine*" angeführt worden. Man hat viel darüber gestritten, von wo aus bei der Ausgleichung der E. einerseits zwischen einem positiv elektrisirten und einem im natürlichen Zustande sich befindenden, andererseits zwischen einem negativ elektrisirten und einem andern im natürlichen Zustande sich befindenden, endlich zwischen einem positiv und einem

negativ elektrisirten der Funke ausgehe. Wenn man nach den am allgemeinsten angenommenen Ansichten den Funken als eine wirkliche Mittheilung und einen Uebergang einer el. Materie ansieht, so würde nach der Franklin'schen Theorie in dem ersten und dritten Falle dieser Uebergang von dem positiv elektrisirten, in dem 2ten von dem im natürlichen Zustande sich befindenden Körper statt finden, und hier also die Entstehung des Funkens ihren Anfang nehmen, nach der Theorie zweier Materien dagegen in allen drei Fällen von beiden Körpern aus gleichmäſsig ein Funke ausgehen, auch dieser Funke in seiner ganzen Beschaffenheit für jede der beiden E. ein eigenthümlicher seyn, wobei jedoch das verschiedene Isolirungsvermögen des jedesmaligen Mediums für die verschiedenen E. so wie die verschiedene relative Intensität und Quantität derselben einen Unterschied in Ansehung der Weite, bis zu welcher in diesem *Zusammenstrahlen* die eine E. der andern entgegen kommt, veranlassen könnten.

Die Erscheinungen selbst sind in dieser Hinsicht nicht ganz entscheidend, wenn sie gleich im Ganzen der dualistischen Ansicht günstiger sind. Wenn nämlich in dem Funken ein *wirkliches* el. Fluidum von dem einen Körper zum andern übergeht, so müſste bei dem gleichmäſsigen Widerstande, den die Luft von allen Seiten entgegensetzt, dieses Fluidum als ein kleiner sphärischer Körper übergehen und wie ein leuchtendes Kügelchen erscheinen. Die Geschwindigkeit des Ueberganges ist aber so groſs, daſs der ganze Weg auf einmal zu leuchten scheint, und eben darum die Erscheinung einen Lichtcylinder darstellt. Eben diese Geschwindigkeit macht es aber auch, wenigstens bei den kurzen und geraden Funken, die bei hinlänglicher Annäherung der Leiter an einander überschlagen, ganz unmöglich, den Entstehungspunct des Funkens und seine Richtung und in ihm selbst einen Gegensatz zweier E. zu unterscheiden. Anders verhält sich die Erscheinung, wenn die Funken, bei gröſserer Entfernung der Leiter von einander, überspringen. In diesem Falle sind sie nicht mehr gerade, sondern stets *geschlängelt* oder eigentlich *zickzackförmig*, und bei sehr wirksamen Elektrisir-Maschinen, aus deren Conductoren, wie schon oben bemerkt, Funken von 12—24 Par. Zoll und bis zur Dicke eines Federkiels auf die Auffangkugel überschlagen, sieht man aus den Hauptfunken Feuerbüsche nach

allen Seiten ausstrahlen. Das Zickzackförmige der Funken hat man aus den feuchten oder leitenden Theilen herleiten wollen, die in der Luft nahe an ihrem Wege liegen, und auf die sie zugehen, um den Weg zu wählen, wo sie den wenigsten Widerstand antreffen. Aber bei der Constanz und Gleichförmigkeit dieser gebrochenen Zickzackform läſst sich eine so wandelbare und zufällige Ursache nicht annehmen, vielmehr scheint das mit groſser Schnelligkeit sich bewegende el. Fluidum die ihm entgegenstehende Luft zu verdichten, die ihm also in gerader Richtung mehr Widerstand leistet, als seitwärts, weswegen es dann seinen Lauf ändert, die Luft auf diese Art in einer neuen Richtung verdichtet, und von ihrem Widerstande abermals gewendet wird, welche wechselnde Bewegungen nothwendig jene zickzackförmigen Erscheinungen bewirken müssen, ganz auf dieselbe Art wie die Zickzackform des Blitzes erklärt wird. Auf dem kürzeren Wege erreicht das el. Fluidum dagegen sein Ziel, ehe eine hinlängliche Verdichtung zur Ablenkung desselben bewirkt worden ist.

In den längern el. Funken unterscheidet man eine Ungleichheit des Lichtes, die einigermaſsen von dem Gegensatze der E. abzuhängen scheint. Doch stimmen die Angaben der Beobachter in dieser Hinsicht nicht vollkommen mit einander überein. Hildebrand, der überhaupt viele Versuche über das el. Licht angestellt hat[1], glaubt[2], daſs ein gröſserer Funke im gröſsten Theile seines Weges von +E hinfahre, aber nahe an —E ihm ein kleinerer Funke entgegenkomme. Wo sie zusammentreffen, sey das Licht am stärksten und violett, das übrige weiſs. Bis auf einen gewissen Grad stimmt auch Knoch[3] damit überein, welchem zufolge in jedem Funken sich stets eine Stelle findet, welche violett, ins Kupferfarbige übergehend ist, und sich von der übrigen Feuerfarbe des Funkens unterscheidet, in welchem Violett sich die beiden aus dem Conductor und dem Auslader gleichmäſsig hervorbrechenden Funken vereinigen sollen, und zwar soll das Violett bald in der Mitte, bald dem Leiter und bald dem Auslader sich näher finden, nämlich bei überwiegender negativer E. (was jedoch nie mög-

---

1 Schweigg. Journ. I. 237. XI. 437.

2 Dynamische Physik II. 761.

3 G. XXIV. 104.

lich ist, wenn ein positiv el. Leiter mit einem im natürlichen Zustande befindlichen Auslader in Wechselwirkung tritt, von welchem Falle doch allein Knoch handelt) dem Conductor näher als dem Auslader, und in diesem Falle soll der Funke von diesem aus überzuspringen scheinen, bei überwiegender positiver E. dagegen näher dem Auslader. Mir scheint dagegen bei längeren Funken, die zwischen dem positiven Conductor und der gewöhnlichen Auffangkugel überschlagen, die gegen den positiven Conductor gekehrte gröfsere Hälfte des Funkens mehr purpurfarbig oder röthlich violett, die nach der Auffangkugel, also nach der negativen Seite hin, gekehrte Hälfte mehr blau, wobei auf dieser Seite der gröfsere Glanz des Funkens zum Vorschein kommt, der jedoch am häufigsten in irgend einer Stelle zwischen den beiden Körpern auftritt. Bisweilen ist die Licht-Continuität in der einen oder der andern Stelle des Funkens unterbrochen; die scheinbare Beziehung der entgegengesetzten Farben auf die entgegengesetzten E. hat indefs Ritter[1] als eine constante gesetzmäfsige Verknüpfung, jedoch auf eine entgegengesetzte Weise als nach unserer Darstellung, aufgestellt, und zwar insbesondere für die Funken bei der Entladung von Flaschen und Volta'schen Säulen. Er behauptet nämlich, dafs auf der ersten Stufe, wo bei der Entladung überhaupt ein Funke zum Vorschein kommt, erst ein stilles, rothes, in die Breite flammendes Sternchen erscheine, welches mit zunehmender Spannung gröfser werde, mit geschiedenern, dichteren, häufigeren und längeren Strahlen, worauf in der Mitte des sonnenähnlichen Sterns sich ein blaues Pünctchen oder Kügelchen zeige, welches zunehme, während die Ausbreitung des Sterns nicht weiter wachse, welches vielmehr endlich von dem wachsenden blauen Kerne verschlungen werde, wobei dann die rothe Farbe des Sterns und die blaue des Kerns immer matter werden, so dafs es scheine, als erlöschten sie zuletzt beide in der einen Mittelfarbe des übrigbleibenden Kugelfunkens. Der blaue Kern in der Mitte soll von gegenwärtiger freier positiver E., der rothe Stern von gegenwärtiger freier negativer E. herrühren. Diese Behauptung unterstützt Ritter noch ferner durch die Beschaffenheit der Funken einer Volta'schen Säule, in denen bei ableitender Berührung des negativen Pols, wenn

1 G. VI. 26 ff.

sie aus dem positiven Pole ausgezogen werden und folglich das + überwiegt, auch das *Blau*, und im umgekehrten Falle das *Roth* vorherrschend seyn soll, so wie durch das im Auge gesehene blaue Licht, wenn der positive Pol einer Volta'schen Säule, durch das rothe Licht dagegen, wenn der negative Pol auf dieses Organ einwirke. Außerdem will Ritter auch eine specifische Verschiedenheit in dem Schalle, wenigstens der galvanischen Funken, gemäfs ihrer el. Beschaffenheit, bemerkt haben, indem dieser Schall in den gewöhnlichen aus + und — gleichmäfsig gemischten Funken, wie sie erscheinen, wenn die Säule ohne Ableitung ist, als ein *Knicksen* erscheine, während die mehr oder auch blofs blauen Funken *knackend*, die mehr oder blofs rothen Funken *zischend* seyn sollen[1]. Es würden sich an die Ritter'schen Verknüpfungen sehr gut Morichini's Erfahrungen anschliefsen, der durch die Concentration des violetten Lichtes positive E. erregt fand[2], dagegen stimmen für die von mir aufgestellte Beziehung mehr die Versuche Heller's[3] über die verschiedenen Funken bei der Entladung einer Leidner Flasche unter verschiedenen Umständen. Entladet man nämlich dieselbe auf die gewöhnliche Weise durch einen metallischen Auslader, der mit der äufsern Belegung verbunden dem Knopfe genähert wird, so entsteht bekanntlich ein sehr lebhafter, weifser und stark knallender Funke, setzt man dagegen die Flasche auf das eine Ende eines Streifens nassen Papiers oder Leinwand von einigen Zollen Länge und den untern Knopf des allgemeinen Ausladers auf das andere Ende, und entladet nun mit dem andern Ende, so ist der Funke roth, klein und sein Schall mehr dumpf. Wird der untere Knopf auf diesem Streifen allmälig der Flasche genähert, so dafs die Strecke des unvollkommenen Leiters immer kleiner wird, so geht der Funke durchs Röthliche ins Röthlichweifse über und nimmt auch an Länge und an Stärke des Knalles zu. Setzt man die Flasche auf einen Nichtleiter, z. B. einen Harzkuchen, und den einen Knopf des Ausladers auf denselben und nähert den andern dem Knopfe der Flasche, so sind die Funken einzeln, röthlich, klein, dumpf, und die Entladung geschieht nur höchst unvoll-

1 G. XIII. 30.
2 Schweigg. J. VI. 333.
3 G. VI. 249.

kommen. Knall, Länge und Farbe des Funkens stehen offenbar im Verhältnisse mit einander. Wo also die beiden E. mit der gröſsten Freiheit sich ausgleichen können, keine das Uebergewicht hat, da ist das Licht weiſs, der Funke lebhaft, bei relativem Uebergewichte der positiven E., wie es wenigstens in den angegebenen Versuchen statt findet, verändert sich dagegen das Licht in Roth. Eben so erscheinen Funken, die man durch Kugeln von Holz oder Elfenbein aus positiv el. Leitern auszieht, von carmosinrother Farbe, wo gleichfalls wegen des unvollkommenen Leitungsvermögens der letzteren das + nicht schnell genug sein — zur vollkommenen Ausgleichung vorfindet, und überhaupt haben die durch unvollkommene Leiter ausgezogenen Funken ein purpurfarbenes Ansehen [1].

Am auffallendsten wird aber die Farbe des el. Funkens durch die *Beschaffenheit des Mediums* modificirt. Ich habe in dieser Hinsicht schon unter dem Artikel „*Elektricität*" die interessanten Versuche DAVY's über die verschiedenen Farben des el. Funkens beim Durchschlagen durch die Torricelli'sche Leere unter verschiedenen Umständen angeführt. Ganz besonders gehören aber hierher die Versuche von GROTTHUSS in verschiedenen Gasarten und Dämpfen [2]. In den Dämpfen des Weingeistes nahm das el. Licht eine herrlich grüne Farbe an und bildete einen seladongrünen Farbenstrom, das schönste Schauspiel im Dunkeln; zugleich verwandelten sich diese Dämpfe in ein permanentes Gas (wahrscheinlich erstes Kohlenwasserstoffgas); auch in Aetherdämpfen sind sie grün, doch soll diese Farbe weiſs erscheinen, wenn man das Auge dicht an die Glasröhre hält, und aus einer beträchtlichen Entfernung betrachtet, röthlich [3]; im Wasserstoffgase haben sie eine schöne purpurrothe Farbe, eben so in verdünnter atmosphärischer Luft. Daſs indeſs die purpurrothe Farbe nicht bloſs von der geringern Dichtigkeit des Wasserstoffgases abhängt, beweiset der Umstand, daſs auch in dem verhältniſsmäſsig viel dichteren Ammoniakgas und in dem Phosphor-Wasserstoffgase die Funken gleichfalls noch roth erscheinen. In den Dämpfen des kochenden Wassers zeigt sich der Funke gelb oder pomeranzenfarben,

1 Vergl. Singer S. 60.
2 Schweigg. J. II. 142 ff.
3 Singer a. a. O. S. 60.

im trockenen kohlensauren Gase und Sauerstoffgase von dem stärksten Glanze und blau violetter Farbe. In durch eine Quecksilbersäule von zwei Schuhen verdichteter atmosphärisscher Luft war der Funke lebhafter, als in gewöhnlicher atmosphärischer Luft und ohne Farbe.

Grotthuss zieht aus seinen Versuchen den Schluſs, daſs die Intensität (der Glanz) des el. Lichtes stets im directen Verhältnisse mit der Dichtigkeit und im umgekehrten mit der el. Leitungskraft des Gases oder Dampfes stehe, und damit stimmen auch vollkommen H. Davy's unter dem Artikel „*Elektricität*" angeführte Versuche überein, welchen zufolge der Glanz des el. Lichtes in der Torricelli'schen Röhre mit der Temperatur zunahm, womit die Dichtigkeit der Dämpfe der sperrenden Flüssigkeit verhältniſsmäſsig vermehrt wurde, und auch gröſser in denjenigen Dämpfen war, welche als schlechtere Leiter der E. angesehen werden können, als in denjenigen, die bessere Leiter sind, stärker nämlich in den Dämpfen des Olivenöls und Chlorspieſsglanzes, als in denjenigen des Quecksilbers. Was aber insbesondere den Gegensatz der Farben des el. Funkens in diesen verschiedenen elastischen Flüssigkeiten betrifft, so meint Schweigger [1] daſs die verschiedene Brechungskraft hierbei den Haupteinfluſs äuſsere, daſs nämlich bei groſser Brechungskraft (Wasserstoffgas, Ammoniakgas) sich die Farbe ins Roth, bei geringer Brechungskraft (Sauerstoffgas, Kohlensaures-Gas) ins Blaue ziehe. Ob hierbei die eigenthümliche und verschiedene gebundene E. der Gasarten selbst mitwirke, mag hier vorläufig als eine Frage hingestellt werden, auf welche ich weiter unten zurückkommen werde.

Besondere Modificationen in der Farbe des el. Funkens hängen auch noch von der Oberfläche der Körper ab, an welcher derselbe hinstreicht. So erscheint er an der Oberfläche von versilbertem Leder glänzend grün, ein langer über Kohlenpulver hinstrahlender Funke ist gelb, und als van Marum den Strahl durch die Torricelli'sche Röhre über Phosphor streichen lieſs, sah er dessen Licht auffallend verändert, gröſstentheils von grünlich gelber Farbe in der Mitte, und wo der Strahl am

1 Dessen Journ. II. 150.

dichtesten war, so wie an der Oberfläche des Phosphors, von einem lebhaften Roth[1].

Zur Entstehung des el. Funkens ist nicht in allen Fällen ein Zwischenraum von Gas oder Dampf erforderlich, sondern er erscheint auch in seinem ganzen Lichtglanze, wenn man eine Leidner Flasche durch eine Schicht Wasser, Oel, Aether u. s. w. entladet, zu welchem Behuf man am besten eine Röhre nimmt, die etwa 6" lang ist und einen halben Zoll im Durchmesser hat, deren beide Enden man mit Korken wohl verschlieſst, und durch die man Drähte steckt, die sehr nahe an einander gebracht werden. Verbindet man den einen mit dem äuſsern Belege, und den andern durch den Auslader mit dem Knopfe der Flasche, so sieht man bei der Entladung der Flasche einen sehr starken Funken zwischen den Enden der beiden Drähte, doch darf man zu diesem Versuche nur eine kleine Flasche nehmen, weil man sonst Gefahr läuft, daſs die Röhre mit groſser Gewalt durch die Explosion zersprengt werde. Hat dagegen die Säule Flüssigkeit eine Ausdehnung von mehreren Zollen zwischen den beiden Drähten, so geschieht die Entladung ohne einen solchen Funken, und jene Gefahr findet nicht statt, auch wenn man eine sehr groſse Flasche oder Batterie dadurch entladet.

Ueber die Verlängerung des Funkens durch mehrfache Unterbrechung und durch Fortleitung an einen unvollkommenen Leiter ist bereits im Artikel: *Elektrisir-Maschine* und *Flasche, elektrische* gehandelt worden. Meineke[2] hat auf diese Vervielfältigung des el. Lichts den Vorschlag gegründet, die E. zur Beleuchtung anzuwenden, indem man Kugeln und Röhren, die im Innern mit Stanniolblättchen belegt sind, vorrichten und überdies verdünnte Luft und Wasserstoffgas zu Hülfe nehmen soll. Allein gerade in diesen beiden Medien fehlt es dem Funken an dem gehörigen Glanze, und der ganze Vorschlag gehört in eine Classe mit denjenigen, durch Reiben der Körper die Wärme für den häuslichen Gebrauch hervorzubringen.

Wie klein ein Funke seyn könne, um selbst bei hellem Tageslichte noch sichtbar zu seyn, darüber hat Haldane[3] eine auf Versuche sich gründende Berechnung angestellt, aus wel-

---

1 G. I. 243.

2 Ebend. LXII. 87.

3 Ebend. VII. 197.

cher sich ergiebt, dafs wenigstens galvanische Funken, die übrigens an und für sich betrachtet, gleichfalls einen rein elektrischen Charakter haben, bei einer Länge, die höchstens $\frac{1}{75000}$ Z. beträgt, noch vollkommen sichtbar sind. Doch wird bei einer so geringen Intensität der E. eine aufserordentliche Quantität des el. Fluidums erfordert, in welcher Hinsicht eine Volta'sche Säule jeden andern Apparat weit übertrifft. In Rücksicht auf die Länge der Funken geladener Flaschen zeigte schon Cavendish[1], dafs dieselbe nicht von der Zahl der Flaschen oder ihrer Gröfse, sondern von der Spannung, bis zu welcher sie geladen sind, abhängt. Bei der Ladung einer Flasche und mehrerer von gleicher Gröfse mit dieser bis zu einem Grade, dafs sie gleich starke Schläge geben, wo also letztere zu einer verhältnifsmäfsig geringeren Spannung geladen sind, ist seinen Versuchen zufolge die Entfernung, in welcher der Funke von den mehreren Flaschen überschlägt (zu welcher Bestimmung das Lane'sche Auslade-Elektrometer am tauglichsten ist) umgekehrt kleiner in einem gröfseren Verhältnisse als die Quadratwurzel aus der Zahl der Flaschen.

Die Länge der Funken zu messen haben Joh. Friedr. Gross[2], le Roy[3] und Langenbucher[4] eigene Werkzeuge unter dem Namen *Funkenmesser* angegeben. Sie bestehen aus Kugeln, die man mit ihren Stielen so verschieben kann, dafs man an einer Eintheilung, die auf diesen Stielen selbst angebracht ist, ihre jedesmalige Entfernung von dem elektrisirten Körper, zwischen welchem und der Kugel die Funken überspringen, genau ablesen kann. Auch dient, um sehr kleine Unterschiede zu bestimmen, eine lange schraubenförmig eingeschnittene Stange mit bekannter Weite der Schraubengänge. Der oben genannte Joh. Friedr. Gross, der dem Verfasser dieses Artikels als einer der eifrigsten Elektriker genau persönlich bekannt und sein erster Lehrer in diesem wichtigen Fache der Physik gewesen ist, hat in der oben angeführten Schrift zuerst ein besonderes Phänomen des el. Funkens angezeigt, das

1 Ph. Tr. LXVI. 202.

2 Elektrische Pausen. Leipzig 1776.

3 Mém. de l'Acad. de Paris 1761. p. 541.

4 Beschreibung einer verbesserten Elektrisir-Maschine. Anspach 1780. 8. S. 46.

er mit dem Namen der *el. Pausen* belegte, und wovon noch unter dem Artikel: *Spitzen* besonders gehandelt werden soll.

II. Die Theorie.

Ueber den eigentlichen innern Vorgang bei der Entstehung des el. Funkens, und insbesondere die Quelle des Lichts und die Art des Zusammenhanges der verschiedenen Intensität dieses Lichtes, und der verschiedenen Farbe mit den Umständen, die hierbei ihren Einfluſs äuſsern, schwebt noch Dunkelheit, und die Ansichten der Physiker hierüber sind von der Einstimmigkeit noch weit entfernt. So viel ist indeſs als Thatsache entschieden, daſs im eigentlichen el. Funken stets die Thätigkeit beiderlei Elektricitäten concurrirt, wodurch derselbe sich von den bloſsen Feuerbüscheln unddem leckenden el. Lichte unterscheidet, bei denen man allerdings bis auf einen gewissen Grad bloſs eine einseitige Thätigkeit einer einzelnen E. annehmen kann. Jeder Funke beruht nämlich, wie oben bemerkt ist, stets auf einer Ausgleichung des el. Zustandes zweier Körper von verschiedener el. Beschaffenheit. Sind die beiden Körper bereits zum voraus in einem entgegengesetzt el. Zustande, so ist die Sache von selbst klar; ist der eine Körper positiv oder negativ, und der andere im natürlichen el. Zustande oder 0, so geht der Entstehung des Funkens immer eine Vertheilung des 0 voran, und es tritt an dem 0 Körper erst die entgegengesetzte E. auf, die bei Annäherung der Körper gegen einander stufenweise zunimmt, bis sie in der Schlagweite ein relatives Maximum erlangt hat, folglich gleichfalls wieder + und — zusammenwirken. Aber selbst wenn gleichartig positive oder negative Körper ihren verschiedenen el. Zustand durch einen Funken ausgleichen, geschieht dieses nur unter der Bedingung, daſs der eine Körper in einem höheren Grade positiv oder negativ elektrisirt ist als der andere, dessen überwiegende E. dann abermals in dem mit ihm in Wechselwirkung tretenden Körper ihren Gegensatz hervorruft, und sich zunächst mit diesem ausgleicht, ohne jedoch in diesem Falle das 0 wieder herstellen zu können. Eben so ausgemacht ist es, daſs die Intensität des el. Lichtes oder der Glanz des Funkens um so gröſser ist, je rascher die Ausgleichung der Gegensätze erfolgt, und je gröſser die Quantitäten der E. sind, die sich in gleicher Zeit in einem gegebenen Raume mit einander ausgleichen. Dieser Auslei-

chung, wenn sie mit der Erscheinung des Funkens begleitet seyn soll, mufs jedesmal eine Anhäufung und damit gegebene Verdichtung der E. an den Körpern, zwischen welchen die Funken überschlagen, vorangehen, welche durch die Umgebung derselben mit Nichtleitern vermittelst ist. Hier tritt nun die Schwierigkeit entgegen, warum das el. Fluidum, so lange es blofs an der Oberfläche angehäuft und verdichtet ist, in der Regel keine merkbaren Lichterscheinungen zeigt, ungeachtet es doch seine freie Wirksamkeit durch anderweitige Erscheinungen, namentlich die Anziehung und Abstofsung verkündigt. Diese Schwierigkeit haben die Physiker auf verschiedene Weise zu lösen gesucht und dadurch sind eben die verschiedenen Theorien des el. Funkens entstanden. Ich habe die sinnreiche Hypothese Biot's, die schon früher Morgan[1] vorgetragen hatte, bereits unter dem Artikel „*Elektricität*" angeführt „dafs die Lichterscheinung dem von einem Körper zum andern übergehenden el. Fluidum selbst nicht angehöre, nicht unmittelbar aus dieser Quelle entspringe, sondern vielmehr durch die schnelle Zusammendrückung des Mediums durch die mit aufserordentlicher Geschwindigkeit übergehende E. aus diesem eben so hervorgelockt werde, wie man auch durch schnelle Zusammendrückung der elastischen Flüssigkeiten durch gewöhnliche mechanische Mittel Lichterscheinungen hervorrufen könne. Aufser den an jenem Orte schon gegen diese Erklärung aufgestellten Einwürfen scheint auch die Erfahrung des sichtlichen Durchschlagens elektrischer Funken durch Schichten von Oel und Wasser nicht damit vereinbar, dabei müfste man, um das fortwährende Durchschlagen von el. Funken durch einen kleinen mit Quecksilber gesperrten Luftraum ohne alle Abnahme des Lichtglanzes bei fortwährender Umdrehung der Elektrisir-Maschine zu erklären, annehmen, dafs die Luft von aufsen her immer wieder das verlorne Licht anziehe, worauf aber keines der begleitenden Phänomene hindeutet. Ob jene leuchtenden Kugeln, die man in gewissen Fällen mit geringer Geschwindigkeit sich hat fortbewegen sehen, el. Natur waren, ist wenigstens nicht ganz ausgemacht, und daher kann von hieraus kein eigentlicher Einwurf genommen werden.

Eben so wenig annehmlich als Biot's Erklärung ist die

---

1 Ph. Tr. LXXV. 198.

von Nicholson[1], dafs der el. Funke, wenn er nicht ausschliefsend aus Theilchen des ponderablen Körpers, aus welchem er hervorgeht, bestehe, doch von solchen Theilchen begleitet werde. Aus den Beweisen, welche Nicholson für diese Meinung anführt, muſs man vermuthen, dafs er den el. Funken für eine wahre Verbrennung dieser Theilchen halte, indem er unter andern anführt, dafs man nie Funken zwischen unverbrennlichen Körpern wahrnehme, auch aus der aufserordentlichen Kleinheit der Strahltheilchen, welche den gewöhnlichen Funken beim Feuerschlagen zum Grunde liegen, auf die Möglichkeit schliefst, dafs die Theilchen, die den el. Funken bilden, der Beobachtung ganz entgehen könnten. Dafs aber kein Verbrennen im gewöhnlichen Sinne des Wortes hierbei vorgehe, beweiset schon der Umstand, dafs sehr lebhafte Funken auch in blofsen Dämpfen von Quecksilber und Chlorspiefsglanz erzeugt werden können. Auch möchte die Behauptung Nicholson's, dafs eine Metallkette, so oft ein el. Schlag hindurchgeht, immer etwas an Gewicht verliere, auf keinen Fall für alle Ketten, z. B. nicht für Ketten von Gold und Platin, gelten, und dann ist dieser Gewichtsverlust nicht Ursache sondern Wirkung des Funkens, der doch schon da war, ehe er durch die Kette hindurchschlug.

Eben so wenig läfst sich das el. Licht mit Pohl[2] aus einer Wechselwirkung der atmosphärischen Luft mit dem elektrisirten Körper, namentlich dem elektrisirten Hauptleiter und dem Conductor des Reibzeugs erklären, vermöge welcher nach den sehr künstlich von diesem Physiker hierzu ersonnenen Schema einer zweigliedrigen Kette, ein offenbarer oder versteckter Oxydationsprocefs eintrete, von welchem, wie bei jedem andern gewöhnlichen Verbrennen, die Lichtentwickelung abhänge, und keineswegs von einer eigenen el. Materie, welche Pohl consequent mit seiner dynamischen Ansicht aller el. Erscheinungen für eine blofse Chimäre erklärt. Schon allein die fortwährende Erregung des lebhaftesten el. Lichtes in der *Hawksbee'schen* luftleer gemachten, blofs etwas Quecksilberdampf enthaltenden *Glasröhre* schliefst alle von Pohl angenommenen Bedingungen zu jenem Processe aus, da einerseits

1 G. XXXIV. 111.

2 Der Procefs in der galv. Kette. S. 320.

an der innern Oberfläche des Glases so wenig als an der Oberfläche des Quecksilbers jene Ecken und Hervorragungen im Gegensatze gegen rauhe Stellen existiren, die Pohl zur Construction einer zweigliedrigen Kette postuliren muſs, andererseits ein Medium, welches durch eine in Beziehung auf sich selbst desoxydirende, in Beziehung auf den Leiter oxydirende Thätigkeit wirkt, gänzlich fehlt. Nach dem, was ich bereits unter dem Artikel „*Elektricität*" vorgetragen habe, sehe ich vielmehr den el. Funken als eine *reine Erscheinung des el. Fluidums selbst* an, und zwar in Folge einer theilweisen Zersetzung desselben, wobei alle Eigenthümlichkeiten des Phänomens nur unter der Voraussetzung zweier el. Materien zu einer harmonischen Darstellung gelangen. Wenn auch van Marum's Beobachtung in Beziehung auf den el. Funken unter allen Umständen sich bestätigte, daſs nämlich in dem Falle, wenn zwischen einem — elektrisirten und einem mit dem Erdboden in Verbindung stehenden, also im natürlichen Zustande sich befindenden, Leiter ein Funke überspringt, die aus demselben ausfahrenden Strahlen und Feuerbüschel ihre Richtung stets von dem 0 Leiter nach dem negativen Leiter hin haben, nach der Art wie die Figur sie darstellt, so würde diese Erscheinung doch keinen Einwurf gegen die sonst so gut begründete dualistische Ansicht abgeben, da sie durch die Erklärung, welche Tremery[1] von den Erscheinungen beim Durchschagen einer Charte gegeben hat, immer noch in gute Uebereinstimmung damit gebracht werden könnte. Aber es ist bereits unter dem Artikel „*Elektricität*" bemerkt worden, daſs unter gewissen Umständen beim Funkenziehen aus dem Conductor des Reibzeugs durch eine entgegengehaltene Kugel die Aeste des Funkens vielmehr gegen diese letztere und der Stamm gegen die negative Kugel gerichtet sind[2].

Fig. 77.

Die theoretische theilweise Zersetzung der el. Materie in den Funken und die davon abhängige Ausstrahlung des Lichts hängt hier eben so von der durch die Anhäufung des el. Fluidums an einer Oberfläche bewirkten Verdichtung desselben, dem man in einem gewissen Sinne eine dampfförmige Natur zuschreiben kann, ab, wie die Zersetzung des Wasserdampfes unter ähnli-

---

1 S. Art. *Flasche, elektrische.*

2 Bischoff in Kastner's Archiv II. 207.

chen Umständen. Es gilt überhaupt das allgemeine Gesetz, dafs in allen Fällen, wo eine starke Verdichtung der E. eintritt, Ausstrahlung von Licht erfolgt, auch wenn es nicht zur Bewegung derselben im Ganzen kommt. So zeigte sich in Nicholson's Versuchen mit der starken Verdichtung der E. eine kleine Kugel mit einem Kreise von Licht umgeben, und auf diese Weise scheinen alle el. Ausstrahlungen und Feuerbüschel der durch Reiben auf einen hohen Grad elektrisirter Körper von einer Zersetzung der an ihnen angehäuften und verdichteten E. abzuhängen. Je stärker diese Verdichtung ist, sey es nun durch vermehrten Widerstand des Mediums, oder durch gröſsere Anhäufung, um so stärker ist diese Zersetzung, um so mehr wird Licht ausgestrahlt, um so gröſser ist der Glanz des Funkens. Damit stimmen alle in diesem Artikel mitgetheilten Beobachtungen überein. Im luftleeren und von allen Dünsten durch Erkältung soviel möglich befreiten Raume findet keine Lichterscheinung statt, weil die E. in ihrem Durchgange gar keinen Widerstand findet und folglich auch die zur Zersetzung des el. Dampfes nothwendige Verdichtung nicht eintreten kann. Eben weil das Licht von der el. Materie selbst und nicht von dem Medium ausgeht, begreift man, warum beim Durchgange durch eine dünnere Schicht von Wasser oder Oel der el. Funke mit groſsem Glanze erscheinen kann, weil wegen des relativ groſsen Widerstandes dieser sehr dichten Medien die Verdichtung und die davon abhängige Zersetzung der el. Materie viel gröſser ist. Der Farbengegensatz, welcher im Allgemeinen in den beiderlei Arten von el. Funken sich zeigt, scheint auf dem Uebergewichte der einen Hälfte des Farbenspectrums in der einen, und der andern Hälfte in der entgegengesetzten E. zu beruhen. In die Mischung der — E scheint mehr die blaue, in die Mischung der + E mehr die rothe Hälfte einzugehen. Daher ist bei einer gehörigen Länge des Funkens dieser nach dem + Conductor hin mehr purpurfarbig, an der Auffangkugel, von welcher die — E der positiven entgegen kommt, mehr blau, in der Mitte dagegen, wo beide E. sich gleichsam mehr durchdringen und gleichzeitig vorhanden sind, integrirt sich das weiſse Licht aus den beiden Gegensätzen, eben so wenn die Funken kürzer und die beiden E. dem Raume nach weniger von einander geschieden sind; doch scheint das glänzendste und weiſseste Licht dem positiven Leiter immer näher

zu liegen. Die überwiegend rothe Farbe des positiven Funkens im Wasserstoffgase rührt ohne Zweifel daher, daſs hier die negative E. von der dem Wasserstoffgase eigenthümlichen positiven mehr angezogen wird, und das Funkenphänomen also ausschlieſsend mehr von der positiven E. abhängt; der umgekehrte Fall muſs im Sauerstoffgase und kohlensauren Gase eintreten, wo vielmehr die + E. von der negativen dieser Gasarten angezogen wird, und die Zersetzung mehr ausschlieſsend die negative E. betrifft. Eben so erklärt sich die rothe Farbe des Funkens beim Ausziehen desselben aus einem positiv el. Conductor durch einen unvollkommenen Leiter, oder bei der unvollkommenen Entladung einer positiv geladenen Flasche, wo nothwendig ein Uebergewicht der positiven E. statt finden muſs, folglich die Zersetzung mehr oder ausschlieſsend diese betrifft, womit dann Ausstrahlung des rothen Lichtes gegeben ist.

III. Historische Notizen.

Die ersten Beobachter des el. Lichts, Boyle, Otto von Guericke, Dr. Wall und Hawksbee sahen dasselbe bloſs an Nichtleitern. Jene beiden ersteren erkannten nur einen Schimmer und das Knistern davon. Dr. Wall[1] fühlte doch schon, daſs das Licht des geriebenen Bernsteins den Finger auf eine empfindliche Art mit einem plötzlichen Stoſse oder mit einem Blasen wie ein Wind treffe. Er verglich auch bereits das Knistern und die Lichtausstrahlung der geriebenen elektrisirten Körper mit dem Donner und Blitze, und stellte den Satz allgemein auf, daſs alle durch Reiben elektrisirte Körper Licht ausstrahlen. Hawksbee der in den ersten Jahren des achtzehnten Jahrhunderts diese Lehre mit vielen neuen Thatsachen[2] bereicherte, nennt den Schall des el. Funkens ein Schnappen (snapping) und die Wirkung auf den Finger eine Art von Druck. Funken aus einem Leiter sah Gray zuerst, da er seine geriebene Glasröhre gegen die Oberfläche des Wassers in einem Gefäſse brachte[3]. Er erzählt, es sey ein feiner Strahl aus dem Wasser hervorgekommen. Die eigentliche Entdeckung des Funkens gehört aber du Fay, welcher ihn im Jahre 1732 zuerst aus seinem ei-

1 Ph. Tr. 1708. XXVI. 87.

2 Ebend. XXIV — XXVII.

3 Ebend. 1731. XXVII. 227.

genen Körper durch Hülfe anderer zog[1]. Er sowohl als diejenigen, die ihn berührten, empfanden einen Schmerz wie von einem Nadelstiche, oder vom Brennen eines Funkens, der durch die Kleider eben so wie auf die bloſse Hand wirkte und im Dunkeln sah man den Funken sehr deutlich. Nollet, der damals du Fay's Schüler war, bemerkt[2], er werde die Bestürzung nie vergessen, in welche der erste Funke aus dem menschlichen Körper du Fay und ihn versetzt habe. Er fand hernach, daſs man aus Metallen noch stärkere Funken erhielte, wodurch Gray veranlaſst wurde, metallene Conductoren oder erste Leiter anzubringen, die ihm so starke Funken aus Wasser gaben, daſs auch er, wie schon früher Dr. Wall, die Aehnlichkeit mit dem Blitze ahndete.

Die deutschen Naturforscher, insbesondere Gordon in Erfurt, verstärkten den Funken noch mehr und bemühten sich brennbare Stoffe dadurch zu entzünden. Dr. Ludolf in Berlin und Winkler in Leipzig waren die ersten, denen es im Jahre 1744 gelang, Weingeist anzubrennen. Gralath in Danzig entzündete den Rauch einer eben verlöschenden Kerze, und Bose in Wittenberg den von geschmolzenem Schieſspulver. Dr. Wilson in London[3] wiederholte diese Versuche und fand daſs die Entzündung auch von statten gehe, wenn eine elektrisirte Person den Weingeist hielt, und eine unelektrisirte den Finger daran brachte.

Bald hierauf gab die Entdeckung der Leidner Flasche den Naturforschern ein Mittel, weit stärkere Wirkungen hervorzubringen, als der Funke der einfachen E. zu thun vermögend ist. Man ist daher auf die Verstärkung desselben nicht mehr so bedacht gewesen. Nollet hat verschiedene Spielwerke, z. B. im Dunkeln leuchtende Buchstaben und andere Figuren, darzustellen, sehr umständlich beschrieben[4]. Die neueren gröſseren und besser eingerichteten Maschinen haben inzwischen einfache Funken verschafft, deren Wirkungen denjenigen der verstärkten E. nicht viel nachgeben. Insbesondere sind die groſsen Funken der Harlemer Maschine sehr merkwürdig. Die

---

1 Mém. de Paris 1733.
2 Leçons de Physique. VI. 408.
3 Ph. Tr. 1745. XLIII. 481.
4 Lettres sur l'électricité Tome II. à Paris 1760. 12. p. 274.

von den neuesten Physikern herrührenden Erfahrungen den el. Funken betreffend, finden sich an ihrem Orte in diesem Artikel erzählt[1]. *P.*

Funke, galvanischer.

Wenn gleich der galvanische Funke im wesentlichen einerlei mit dem elektrischen ist, so zeigt er doch einiges Eigenthümliche abhängig von der Beschaffenheit der galvanischen Apparate, durch deren Hülfe er erhalten wird. Am passendsten wird indeſs von demselben in dem diesen Apparaten gewidmeten Art.: *Säule, Volta'sche,* gehandelt werden. *P.*

Funkeln der Sterne.

Scintillatio stellarum; scintillation des étoiles; *twinkling of the stars, glittering of the stars.*

Die Sterne zeigen uns zuweilen bei ganz heiterem Himmel ein völlig ruhiges Licht, zu andern Zeiten aber sind sie lebhaft zitternd, sie scheinen sich in geringem Maſse hin und her zu bewegen, in einem Augenblicke heller aufzuglänzen, als im andern. Das letztere ist das Funkeln oder Blinkern der Sterne. Dieses Funkeln entsteht durch eine Ungleichartigkeit der Luft- und Dunst-Schichten, durch welche der Lichtstrahl zu unserm Auge gelangt, und durch die Aenderung der Lage der ungleichartigen Theilchen. Wenn wir über ein nicht rauchendes Kohlenfeuer oder auch nur über eine erhitzte Fläche hin sehen, so scheinen uns die jenseits liegenden Gegenstände in einer zitternden Bewegung zu seyn, die von dem Aufsteigen der erhitzten Luft durch die kälteren Luftschichten hervorgebracht wird. Es gelangen nämlich die Lichtstrahlen, indem sie bald auf wärmere, bald auf kältere Theilchen, oder im Allgemeinen auf Theilchen von ungleicher Dichtigkeit treffen, nicht immer in derselben Richtung zum Auge, sondern erleiden bald

---

1 Priestley's Geschichte der Elektricität übersetzt durch Krünitz. An mehreren Stellen. Cavallo's vollständige Abhandlung u. s. w. Ister Band. 3ter Theil. 6stes Cap. Vom el. Lichte. S. 191. Singer's Elemente der Elektricität übersetzt von Müller. 4tes Cap. S. 49. Elektrische Lichterscheinungen. Ruhland's System der allgemeinen Chemie 1818. S. 91—95.

nach der einen, bald nach der andern Seite eine kleine Brechung, und dieser Wechsel bringt das Zittern der Gegenstände hervor. Aus diesem Grunde sieht man an heiſsen Tagen die Oberflächen der nicht allzu entfernten Gegenstände, in denen man kleinere Theile noch deutlich unterscheidet, zitternd, zuweilen in Wellen ähnlicher Bewegung [1]. Daſs eben dieser Grund das Funkeln der Sterne hervorbringt, ist wohl offenbar, und es läſst sich nun auch einsehen, warum die Fixsterne stärker funkeln als die Planeten. Die Fixsterne erscheinen uns unter einem so geringen Durchmesser, daſs wir sie fast als einem Puncte gleich erscheinend angeben können, und wenn diese auch nur um etwas Geringes, z. B. 5 Secunden von ihrem Platze verrückt werden, so erscheint uns dieses als wirkliche Fortrückung; die Planeten dagegen, die 30 oder 40 Sec. scheinbaren Durchmesser haben, könnten uns allenfalls unter einem an der einen Seite vergröſserten Durchmesser erscheinen, wenn der von der einen Seite ausgehende Strahl mehr seitwärts gelenkt wird, und dieses werden wir nicht so leicht gewahr. Sieht man die Planeten durch ein Fernrohr an, so zittern ihre Ränder, besonders wenn sie nahe am Horizonte stehen. Selbst der Rand der Sonne erscheint, wenn man ihn so beobachtet, oft in zitternder Bewegung [2]. Das Erscheinen verschiedener Farben, welches besonders am *Sirius* zuweilen merklich ist, muſs doch auch wohl ohne Zweifel aus eben den Ursachen erklärt werden, obgleich ich gestehe, nicht entscheiden zu können, ob man es der ungleichen Brechbarkeit der Farbenstrahlen allein zuschreiben darf.

Mit diesem Funkeln der Sterne verwandt sind einige länger dauernde Verrückungen der Sterne von ihrem Standpuncte. Carlini bemerkt [3], daſs sich in dem stark vergröſsernden Reichenbach'schen Mittagsfernrohre beim Durchgange des Polarsterns zuweilen die sonderbare Erscheinung zeigte, daſs dieser

---

1 Brandes Beobachtungen über die Strahlenbrechung. Oldenburg 1807. S. 110.

2 Als diese richtige Erklärung angebend, verdienen Vitellio (Risneri opticae thesaurus. p. 449) und Hook (Micrographia. p. 231.) erwähnt zu werden. Musschenbroek (Introd. ad philos. nat. Vol. II. §. 1741.) und Mitchell (Priestley Geschichte der Optik. S. 372.) geben Erklärungen, die ungenügend scheinen.

3 De Zach Corresp. astron. II. 84.

am Faden vorbeigeht, 10 bis 20 Sec. fortrückt, dann zurückkehrt, den Faden noch einmal rückgängig und dann abermals rechtläufig passirt. Zuweilen trennte der Stern sich in zwei Hälften, oder es zeigte sich ein doppeltes Bild des Sterns. Diese Erscheinung mufs eben so erklärt werden. Gesetzt, es steige, statt der schnell wechselnden warmen Luftströme, aus welchen das Funkeln hervorgeht, ein gleichförmiger warmer Luftstrom auf, der eine Seitenrefraction von 20 Sec. hervorbringt, so wird der Stern anhaltend um 20 Sec. von seinem wahren Orte weggerückt seyn, und erst an seinen rechten Platz zurückkehren, wenn jener Lichtstrom nicht mehr da ist. Wäre dieser Lichtstrom so beschränkt, dafs neben ihm vorbei noch ein zweiter Lichtstrahl in gerader Linie ins Auge käme, so sähe man den Stern doppelt, genau so wie bei der **Luftspiegelung** (Mirage). Ich selbst habe eine ähnliche dauernde Verrückung wahrgenommen, wenn ich bei starker Hitze mikrometrische Messungen der Sonnenflecke vornahm; die im Heliometer entstehenden doppelten Bilder waren zuweilen mehrere Secunden lang in Berührung, und trennten sich dann wieder; — offenbar auch nur, weil der die eine Hälfte des Objectivs treffende Lichtstrahl durch eine anders brechende Luftmasse ging[1].

Dieses Funkeln der Sterne ist ungleich bei verschiedener Witterung. Ein ganz ruhiges, gleichförmiges Licht der Sterne bei heiterem Himmel scheint zuweilen Vorbedeutung von Regen und Sturm zu seyn[2]. Das sehr lebhafte Funkeln der Sterne bei heiterem Frostwetter kann vielleicht zum Theil durch die alsdann oft in der Luft zahlreich herabfallenden höchst feinen Eisblättchen veranlafst werden[3]. In der heifsen Zone scheinen die Sterne zuweilen nicht blofs zu zittern, sondern hin und her zu fliegen, wie v. Humboldt erzählt[4]. *B.*

Fufs, S. Mafs.

---

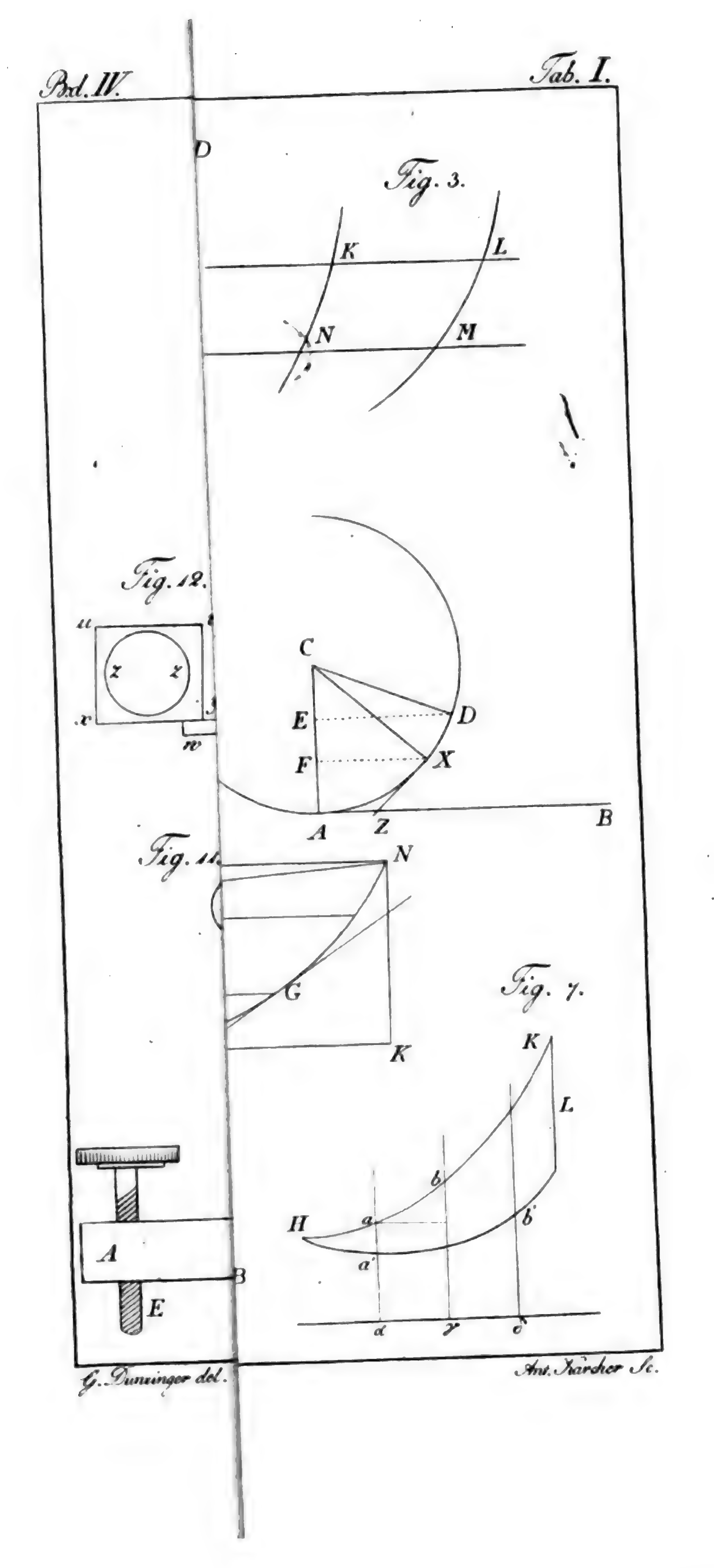
1 Bode's Jahrb. 1824. S. 166.

2 Kastner's Archiv X. S. 256.

3 Vgl. Konigl. Vetensk. Selsk. nya Handlingar. XXIV.

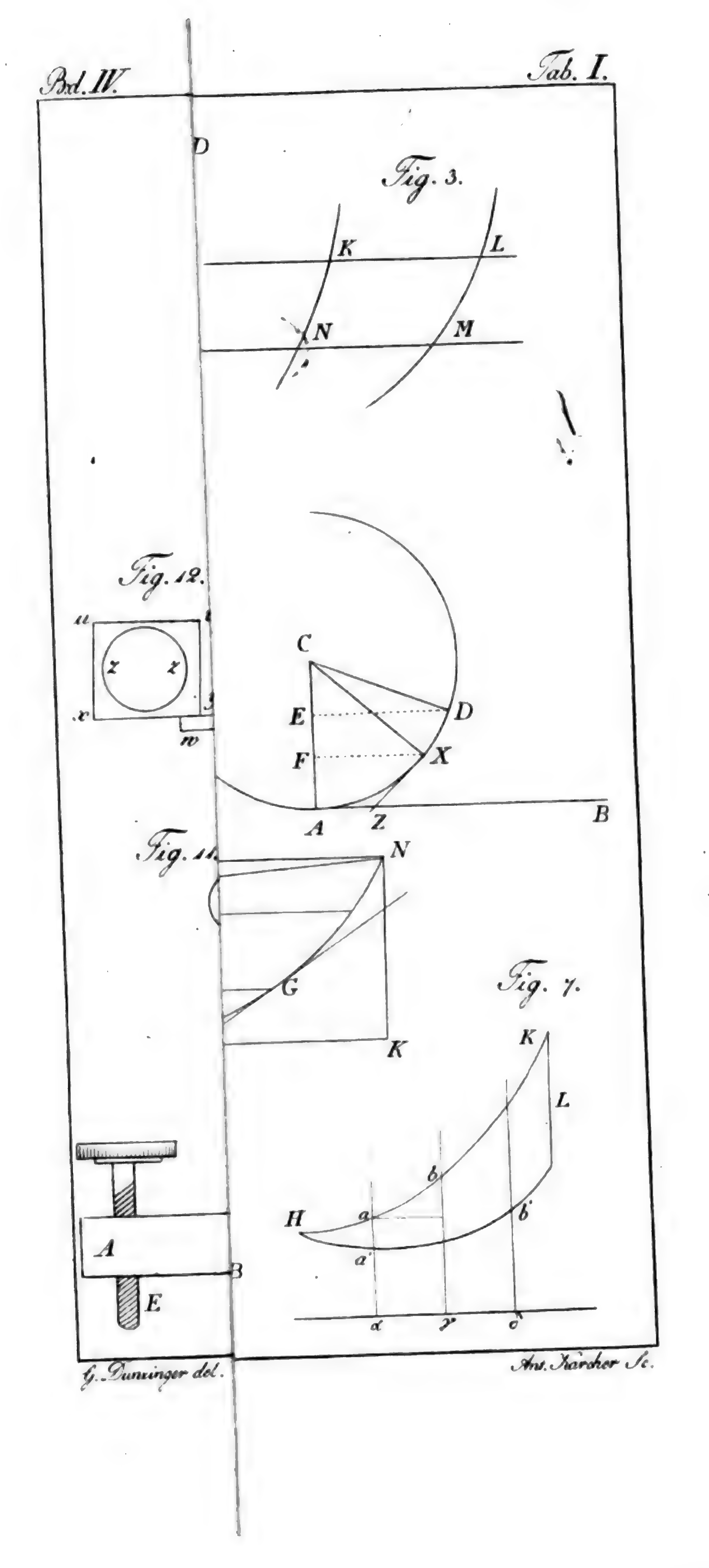
4 G. VI. 190.


BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

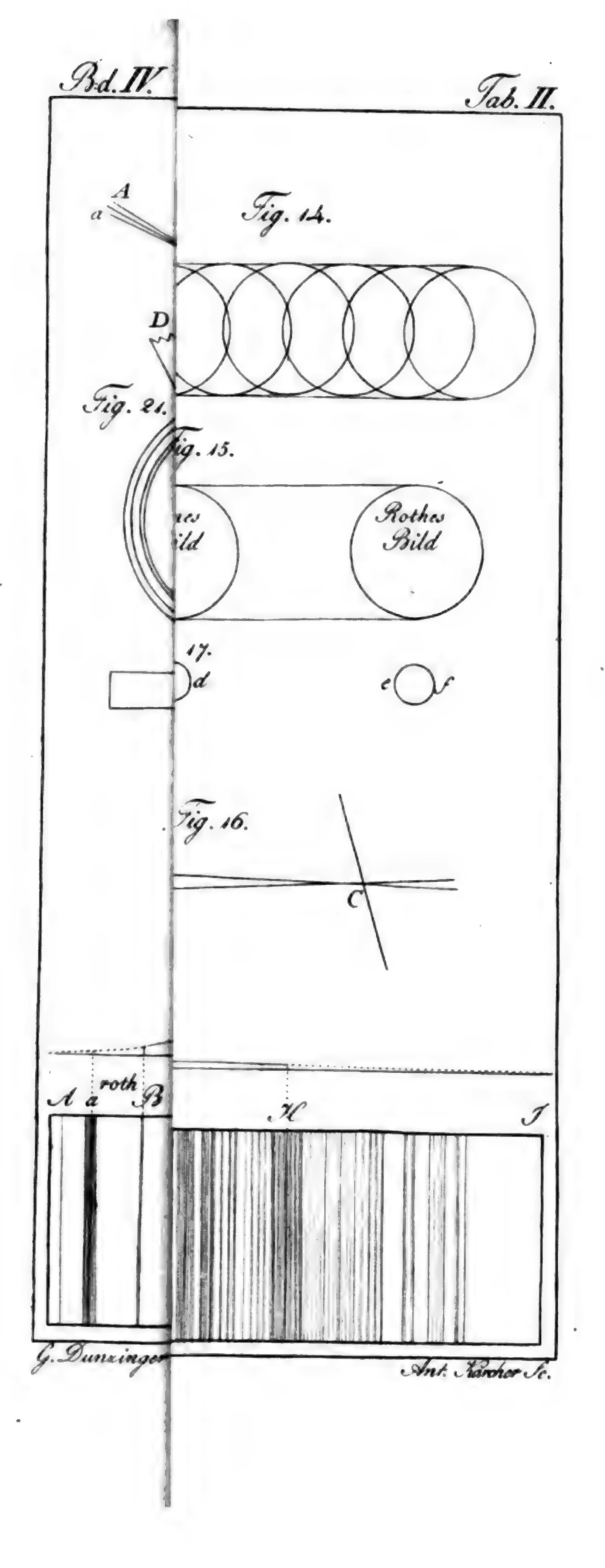


Bd. IV.
Tab. I.
Fig. 3.
K
L
N
M
D
Fig. 12.
u
z
z
x
w
C
E
D
F
X
A
Z
B
Fig. 11.
N
G
K
Fig. 7.
K
L
b
H
a
b'
a'
A
B
E
α
γ
δ
G. Dunzinger del.
Ant. Karcher Sc.


BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.



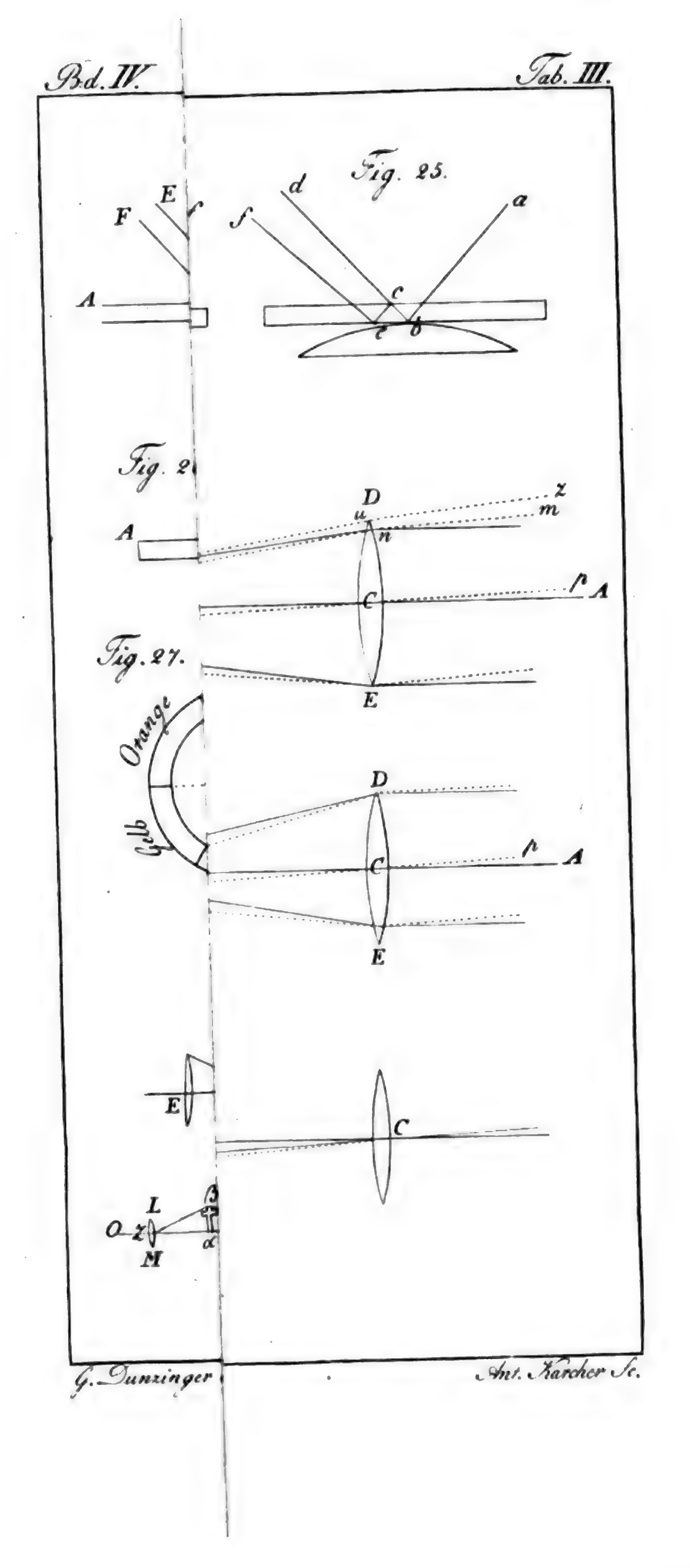
G. Dunzinger del. Ant. Karcher Sc.



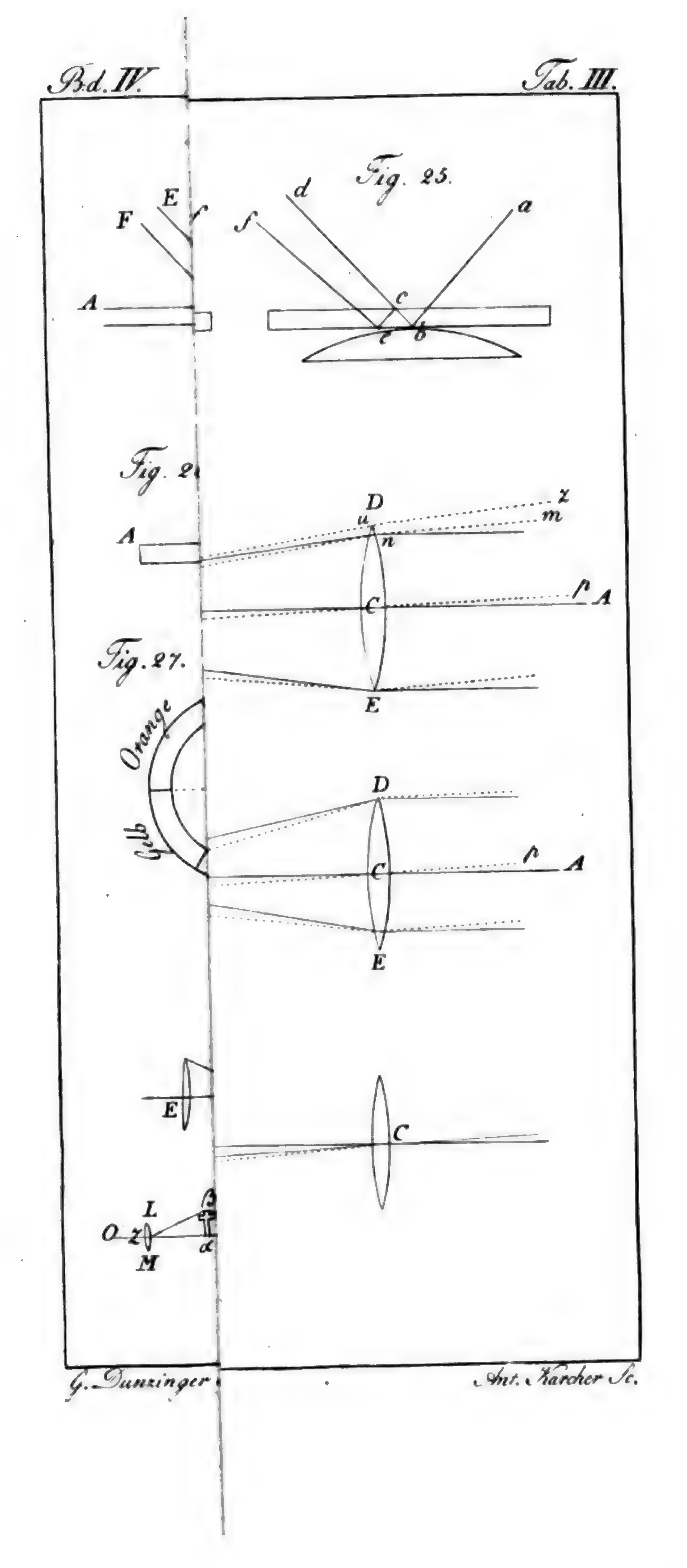
Bd. IV.
Tab. II.
A
a
Fig. 14.
D
Fig. 21.
Fig. 15.
Rothes
Bild
17.
d
e
f
Fig. 16.
C
A
a
roth
B
H
J
G. Dunzinger
Ant. Karcher Sc.

G. Dunzinger

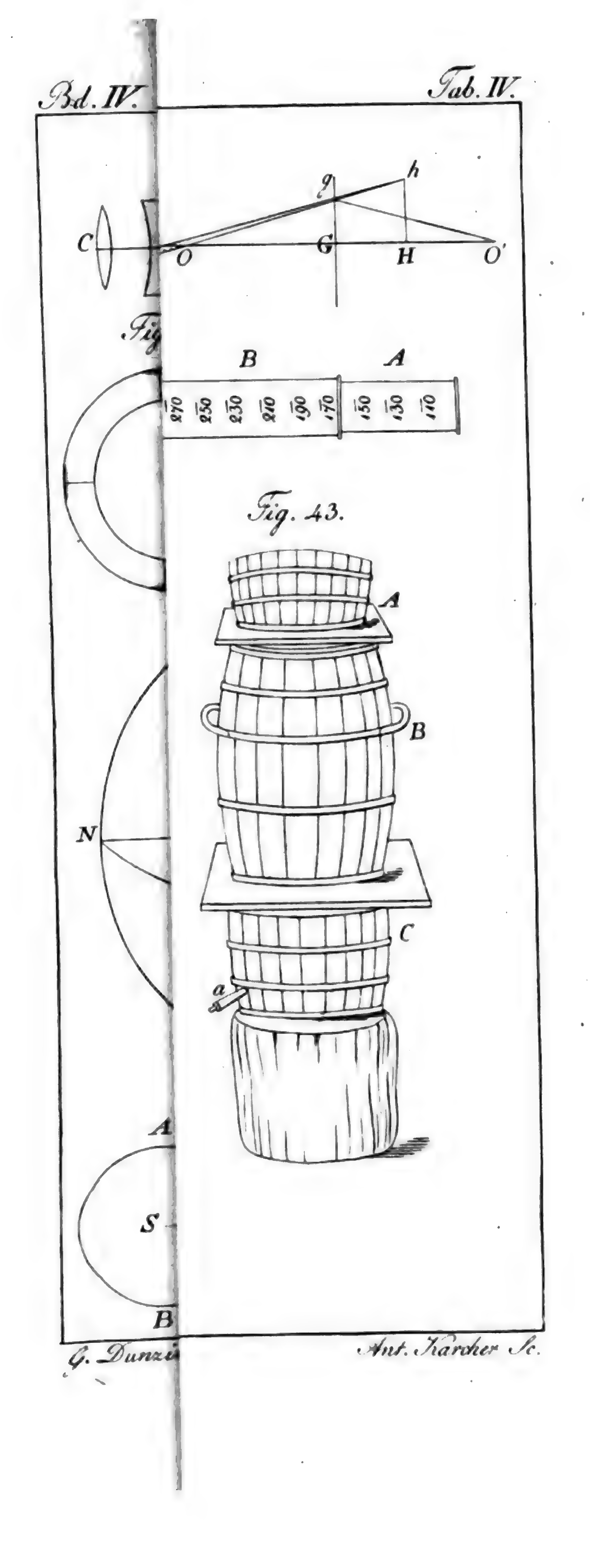
Ant. Karcher sc.

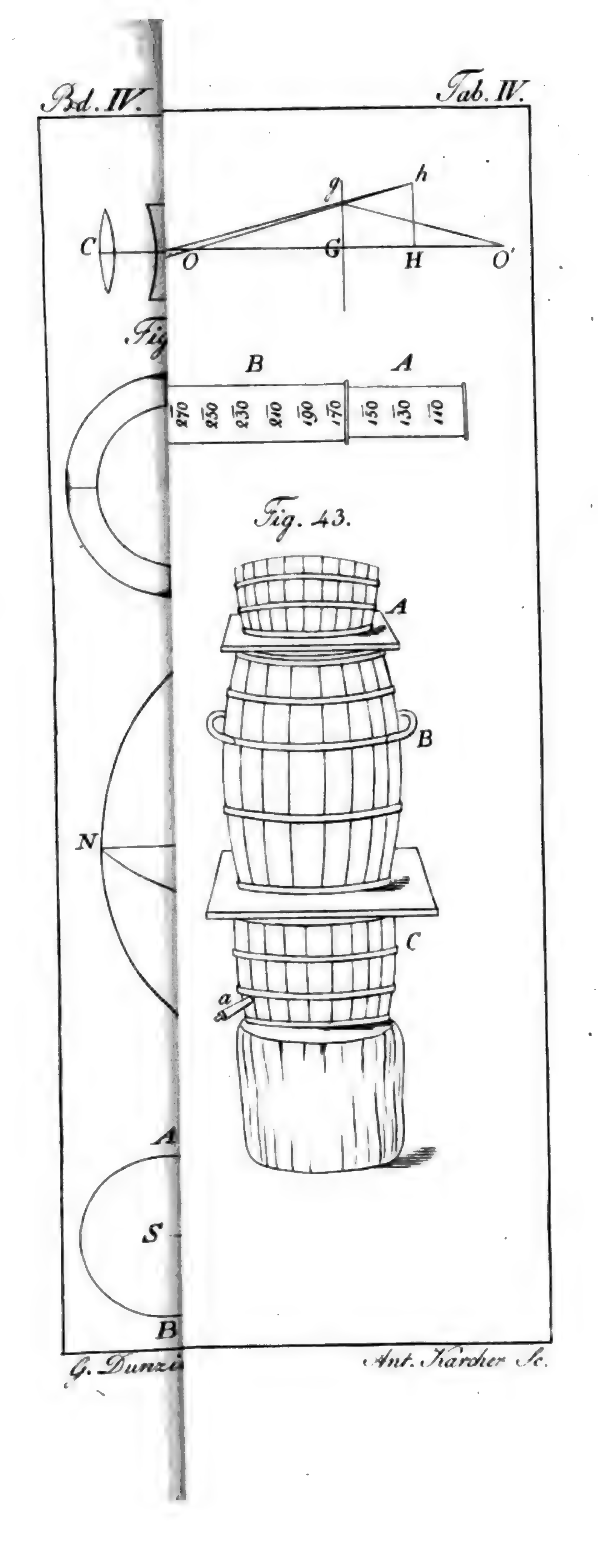

Bd. IV.
Tab. III.
Fig. 25.
F
E
f
A
f
d
a
c
e
b
Fig. 2
D
u
n
z
m
A
C
p
A
E
Fig. 27.
Orange
Gelb
D
C
p
A
E
E
C
L
O
Z
M
β
α
G. Dunzinger
Ant. Karcher Sc.

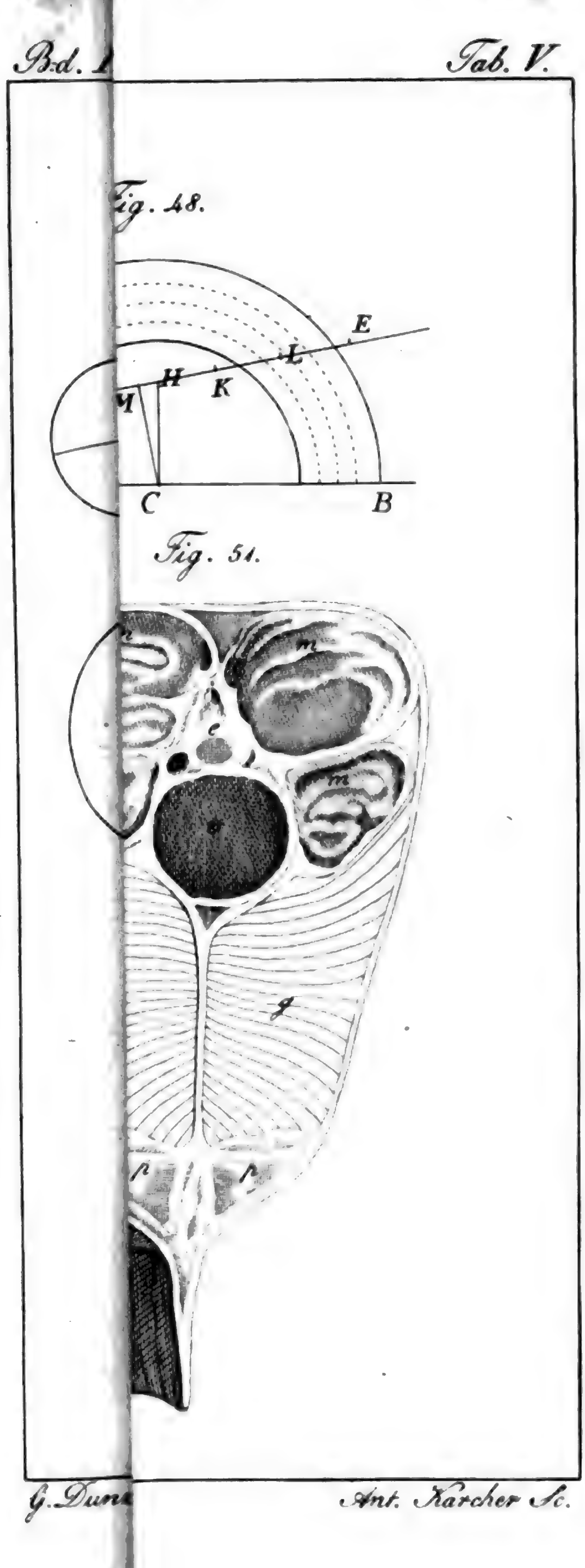




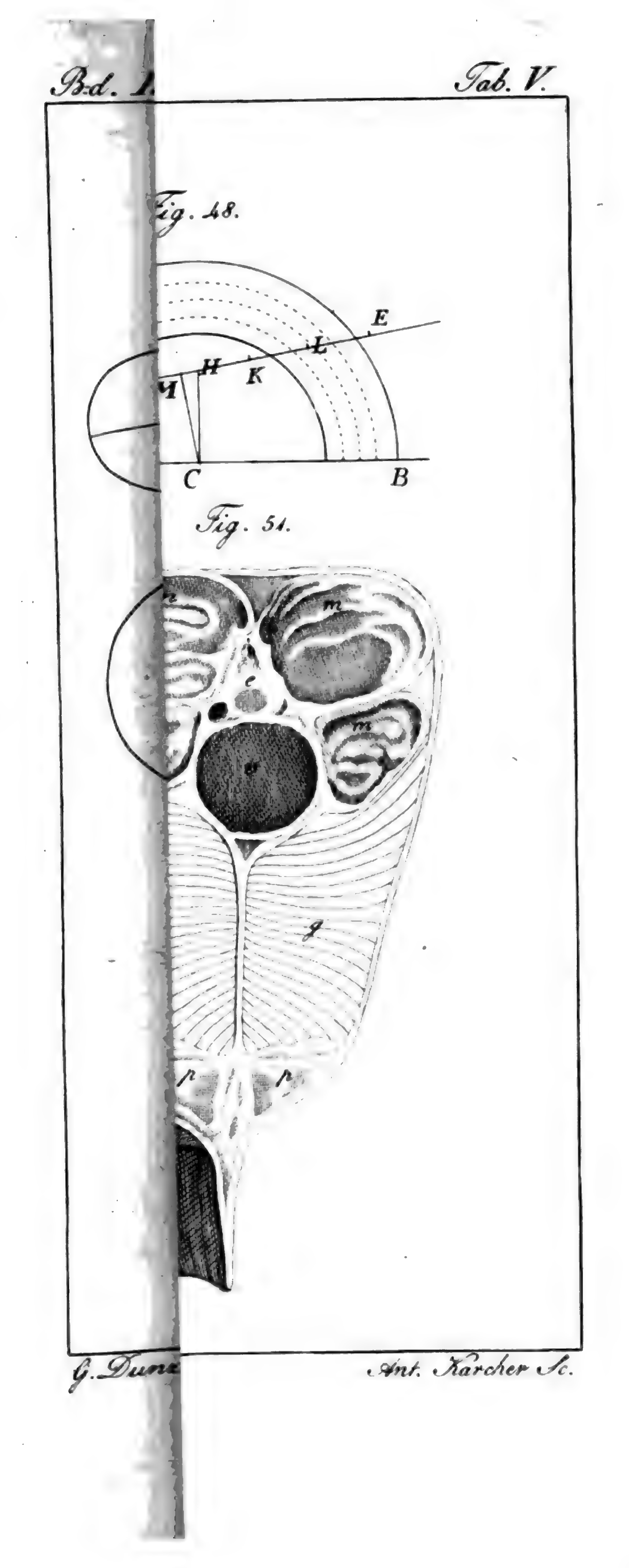
Bd. IV.
Tab. III.
Fig. 25.
E
F
f
d
a
A
c
e
b
Fig. 26
D
u
z
m
n
A
C
p
Fig. 27.
E
Orange
Gelb
D
C
p
A
E
E
C
L
O
Z
M
β
α
G. Dunzinger
Ant. Karcher Sc.


Bd. IV.
Tab. IV.
g
h
C
O
G
H
O'
Fig
B
A
270
250
230
210
190
170
150
130
110
Fig. 43.
A
B
C
a
N
A
S
B
G. Dunzi
Ant. Karcher Sc.

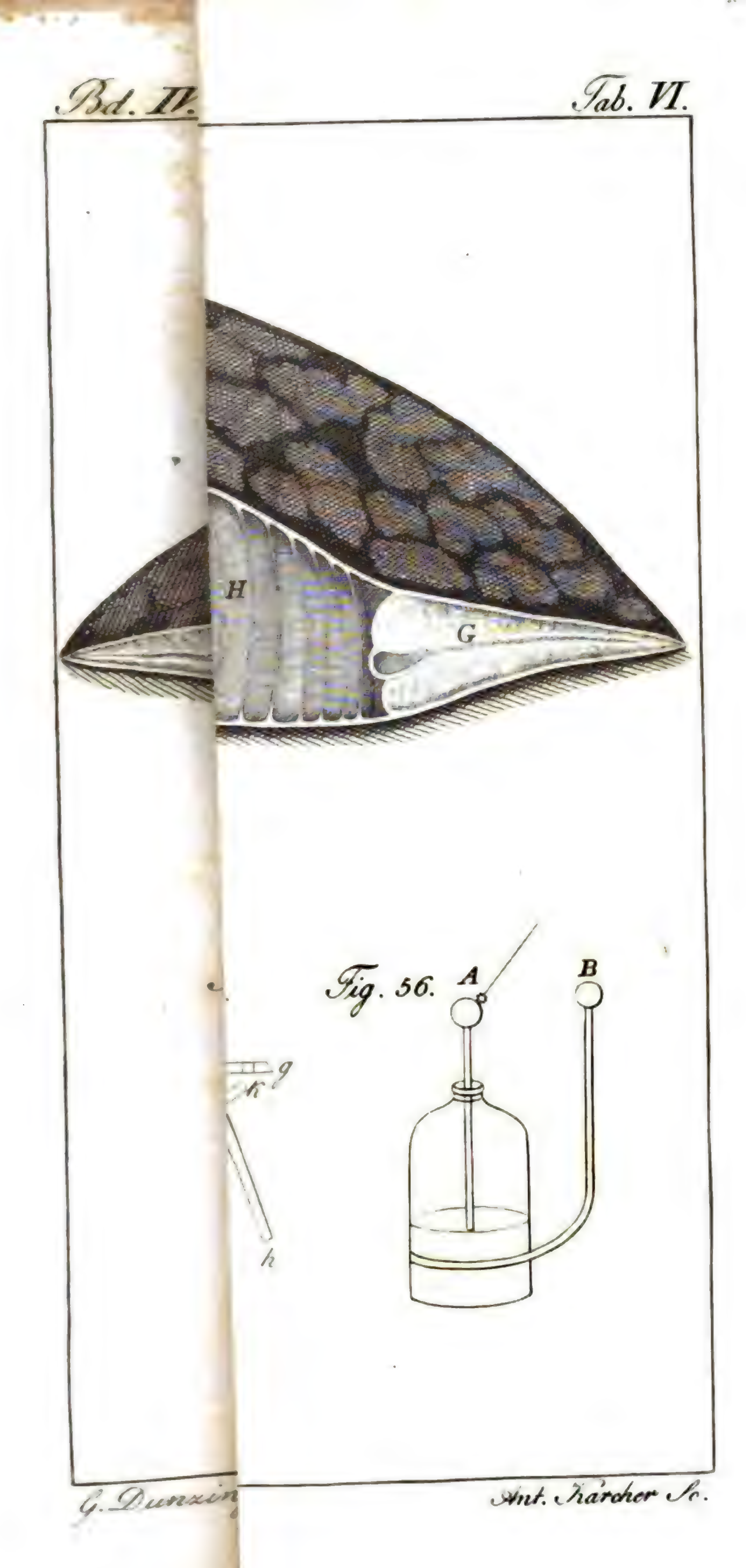

Bd. IV.
Tab. IV.
g
h
C
O
G
H
O'
B
A
270
250
230
210
190
170
150
130
110
Fig. 43.
A
B
C
a
N
A
S
B
G. Dunzi
Ant. Karcher Sc.



G. Dun[...] Ant. Karcher Sc.

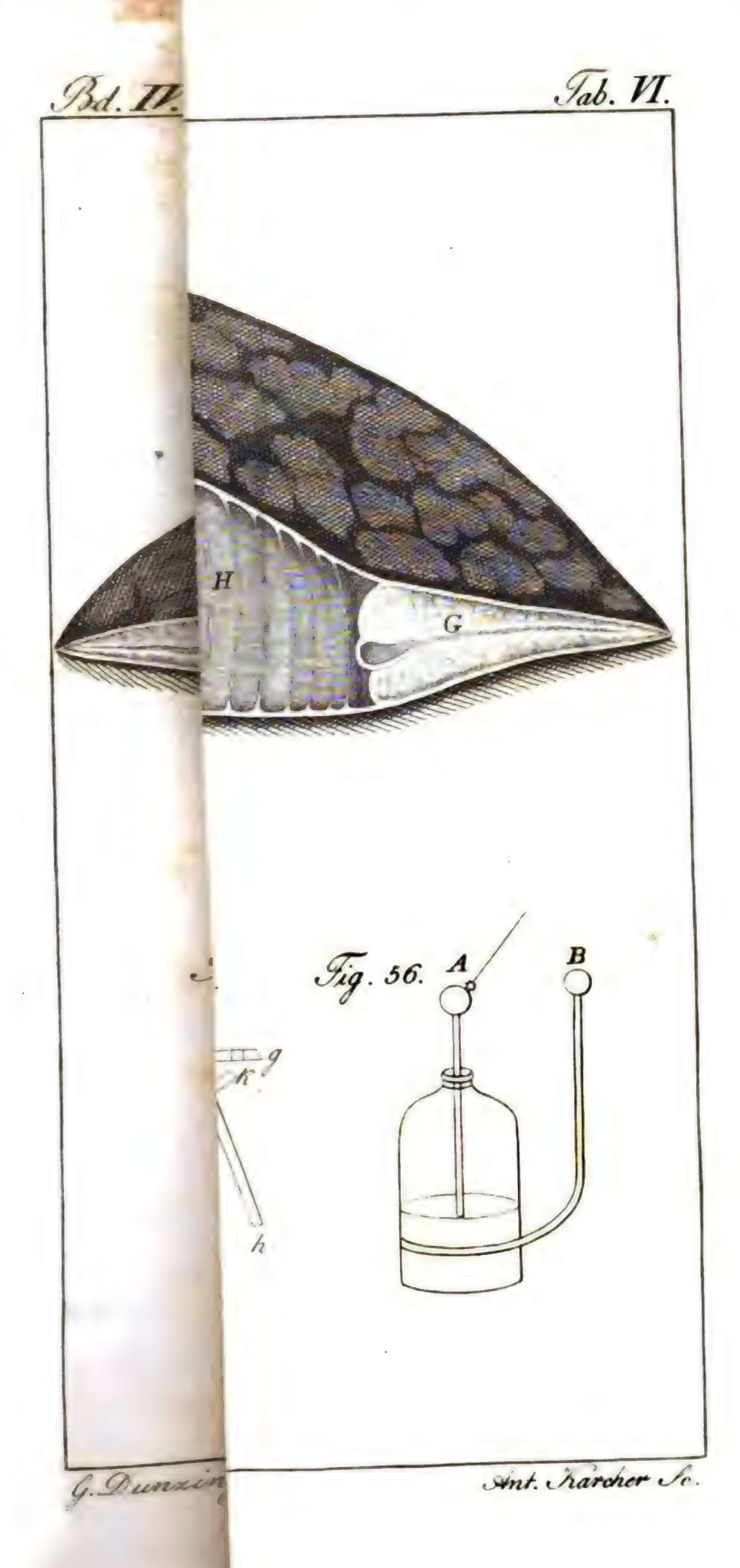


G. Dunz Ant. Karcher Sc.

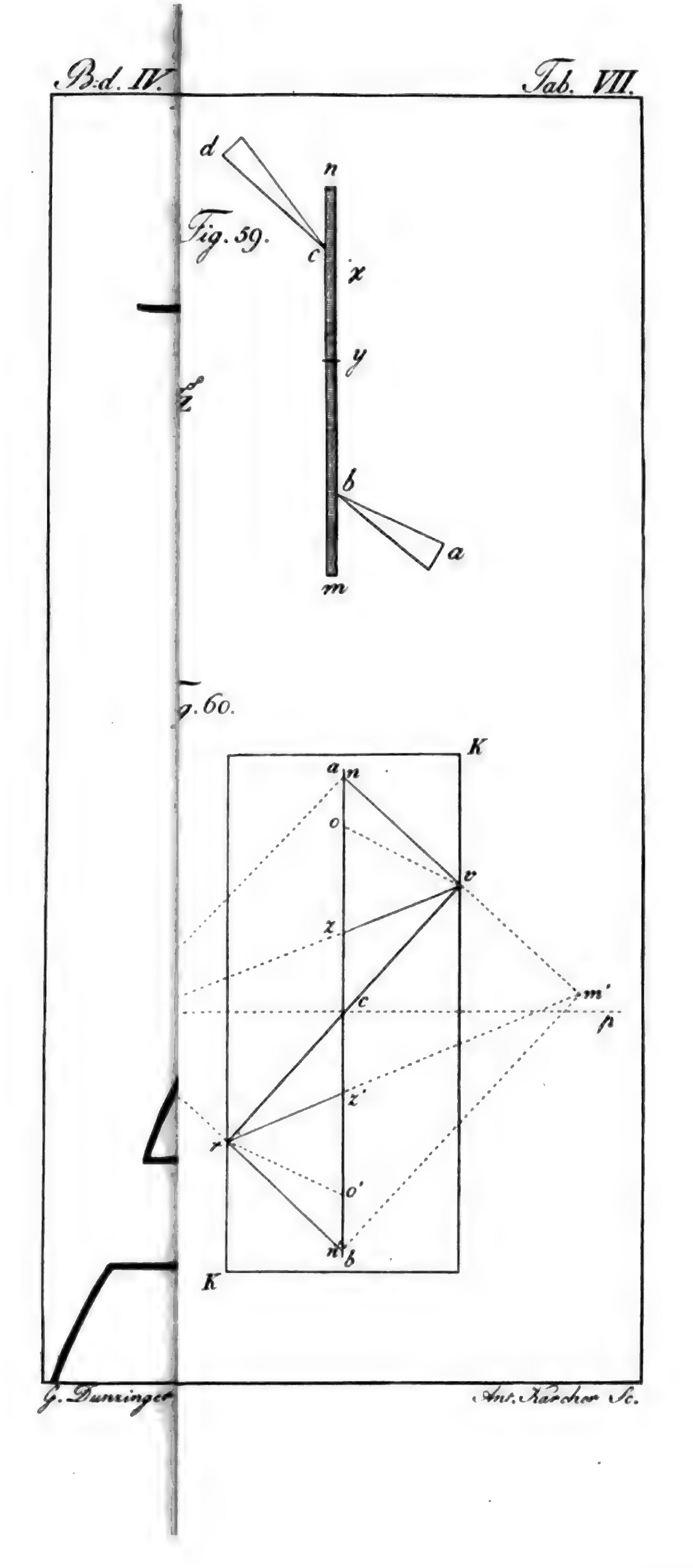


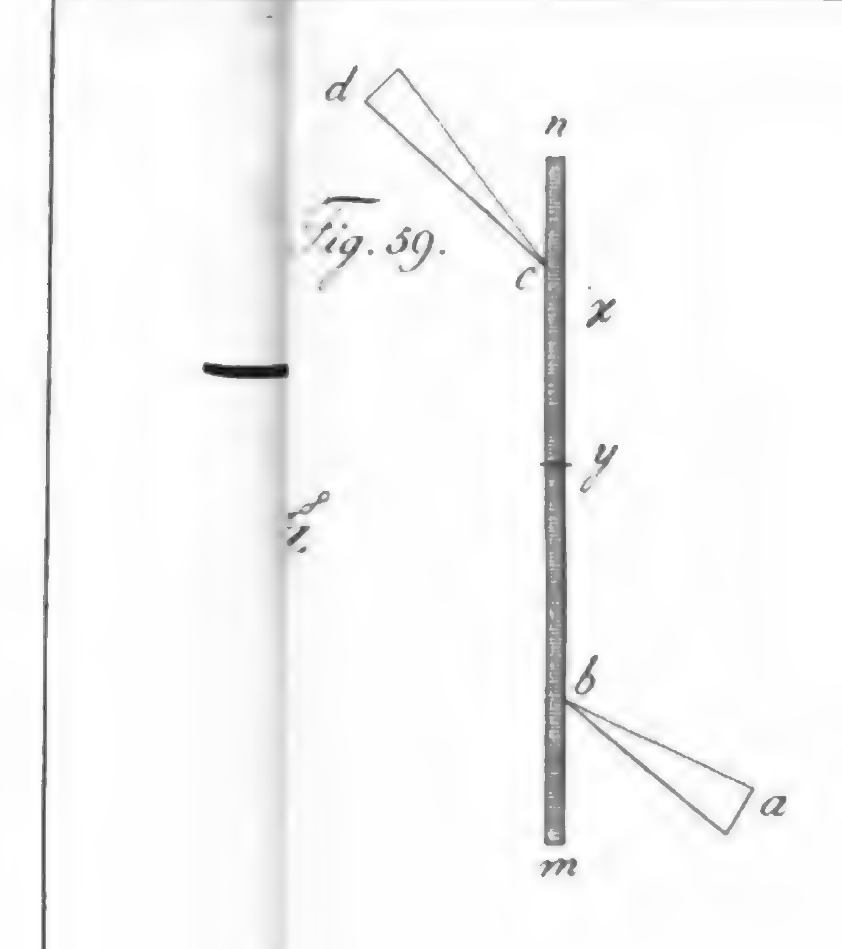
G. Dunzin[g] Ant. Karcher Sc.





G. Dunzin[g] Ant. Karcher Sc.


Fig. 59.
d
n
c
x
y
b
a
m
Fig. 60.
K
a
n
o
v
z
m'
c
p
z'
r
o'
n'
b
K


d
n
Fig. 59.
c
x
y
b
a
m

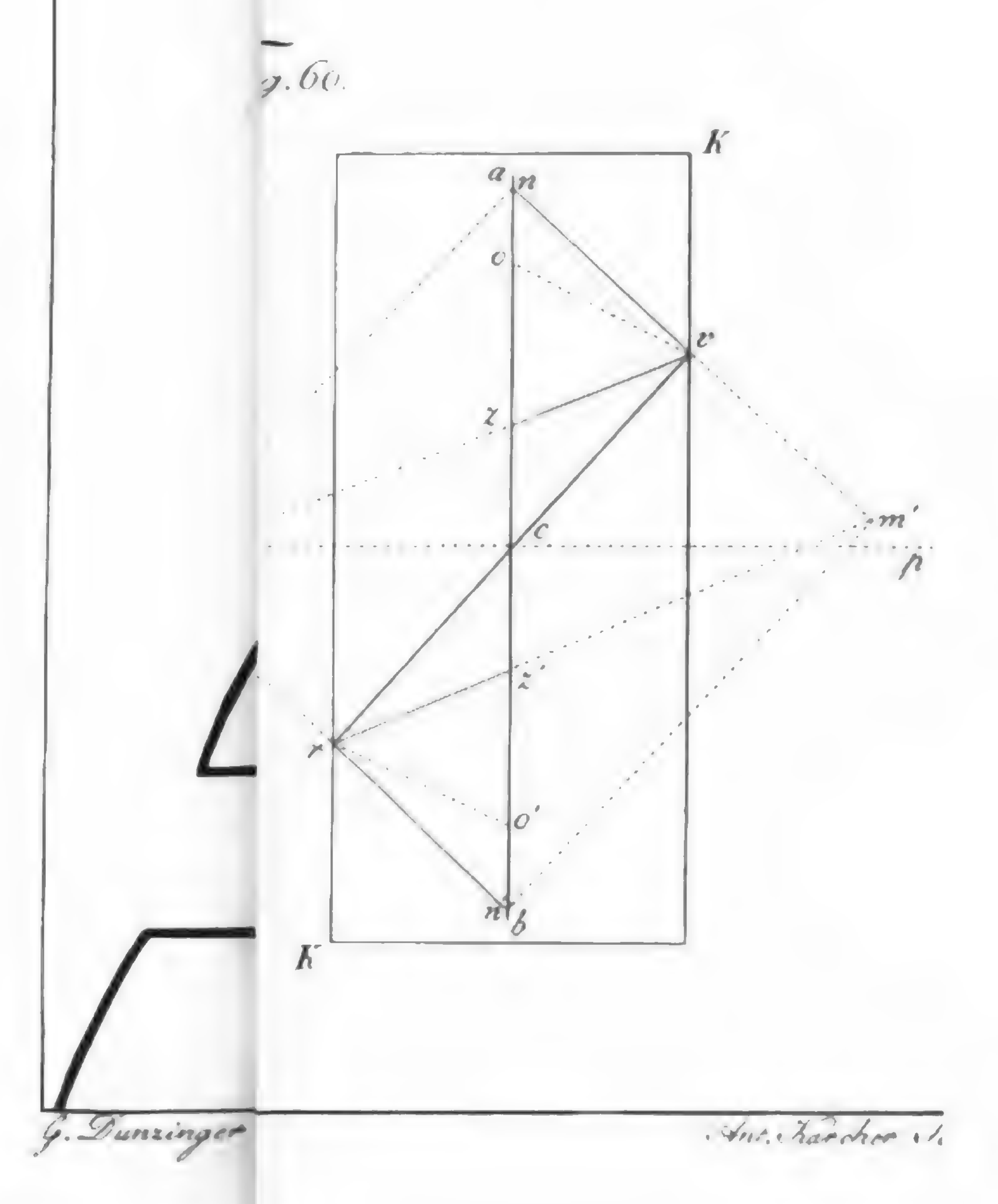

Fig. 60.
K
a
n
o
v
z
m'
c
p
z'
r
o'
n'
b
K

Fig. 61.

Fig. 65.

9

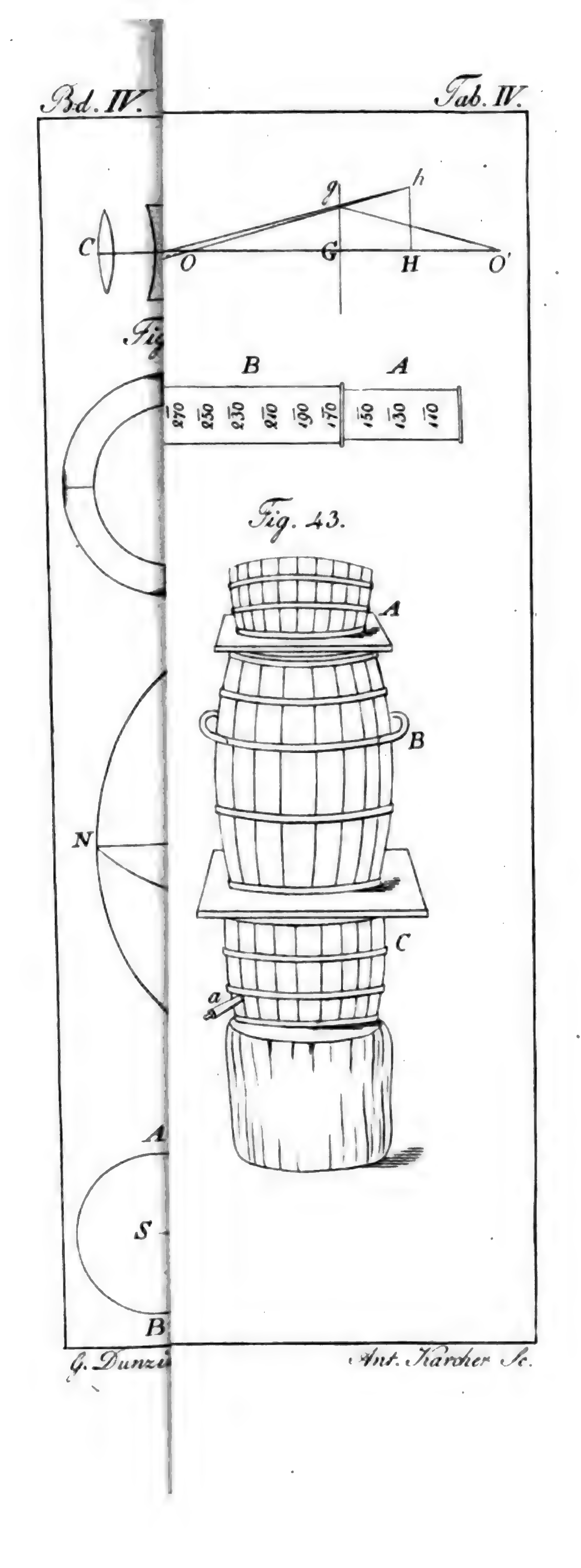
1

Fig. 6

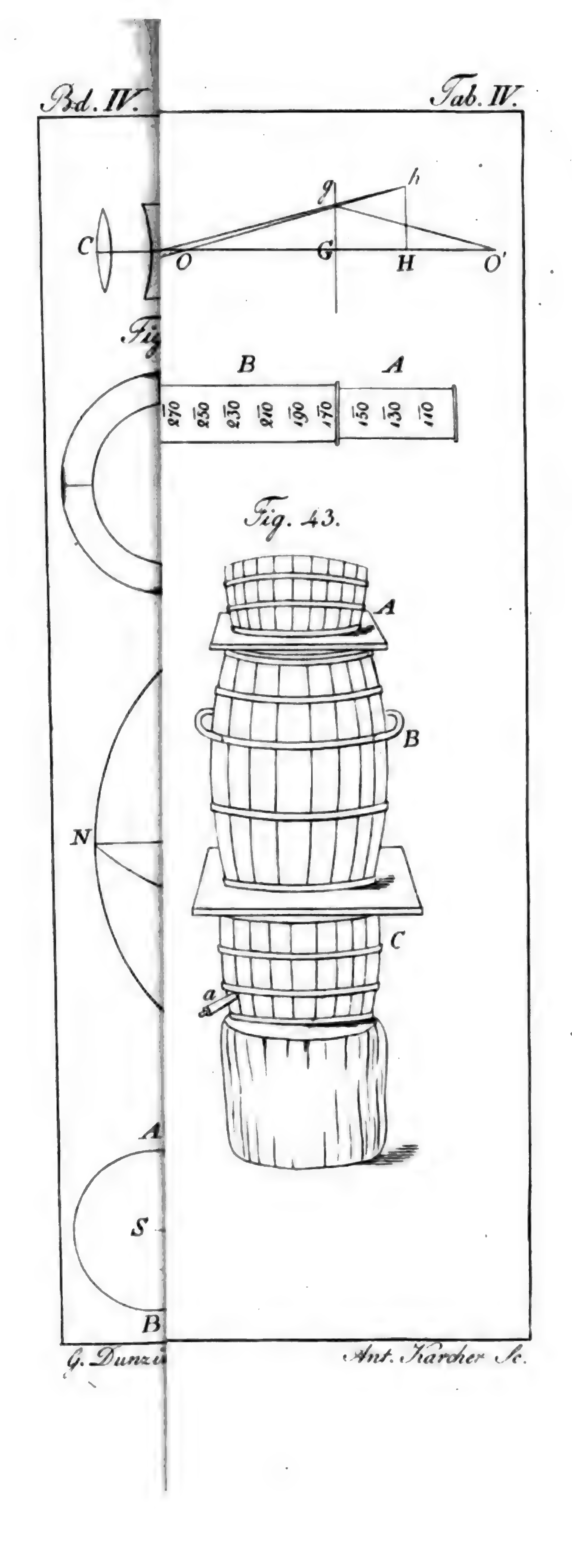
Fig. 70.

1

7

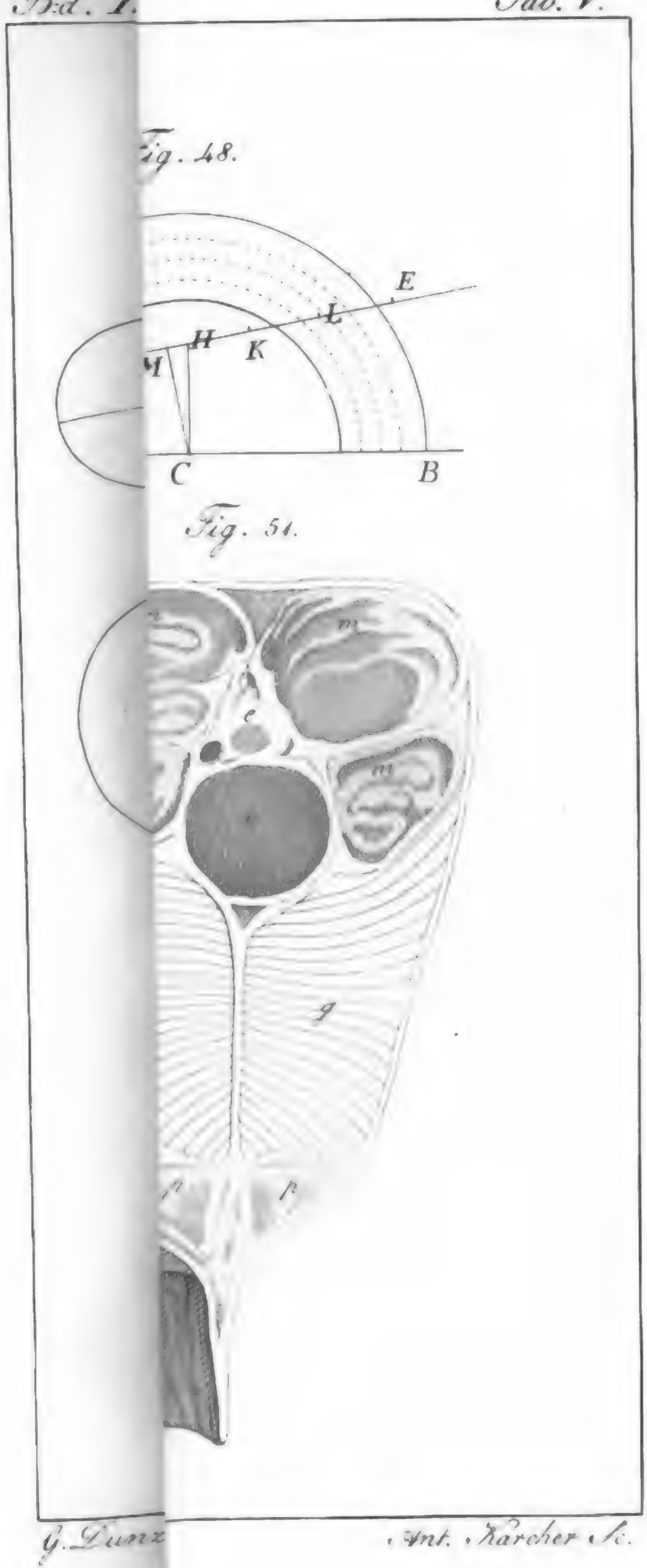


G. Dunz... Ant. Karcher Sc.

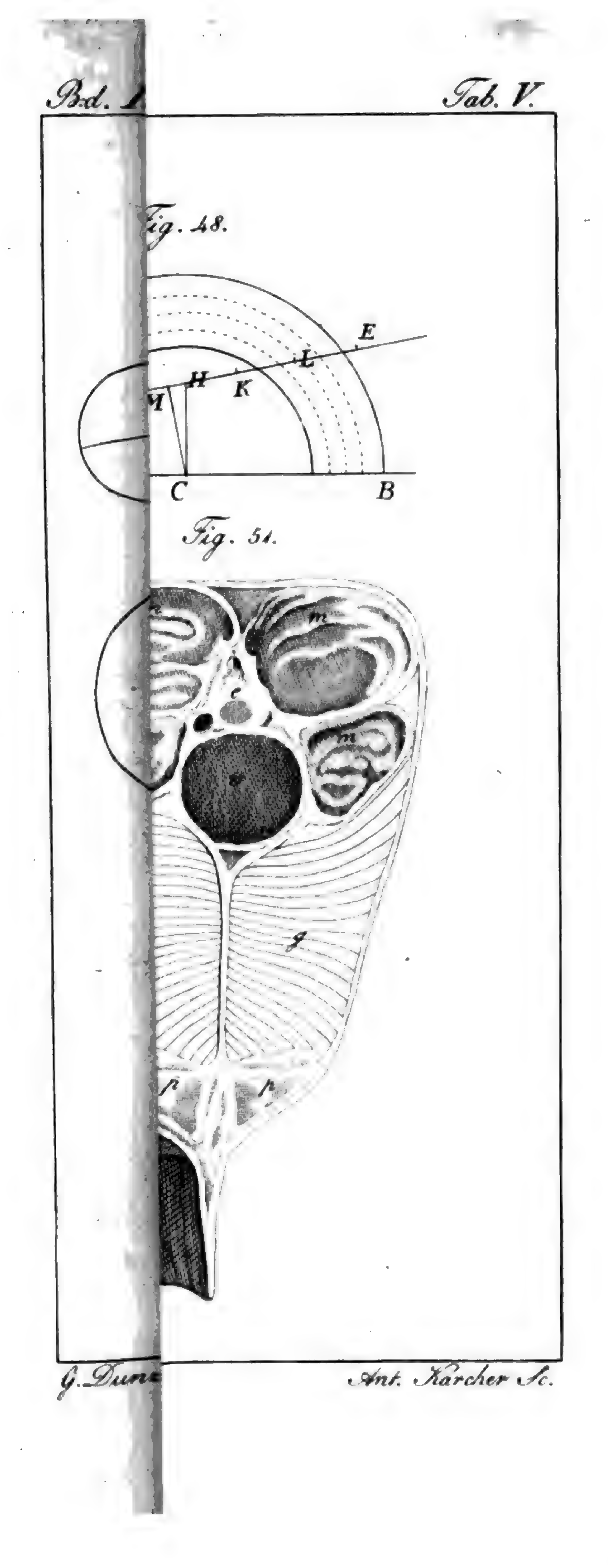


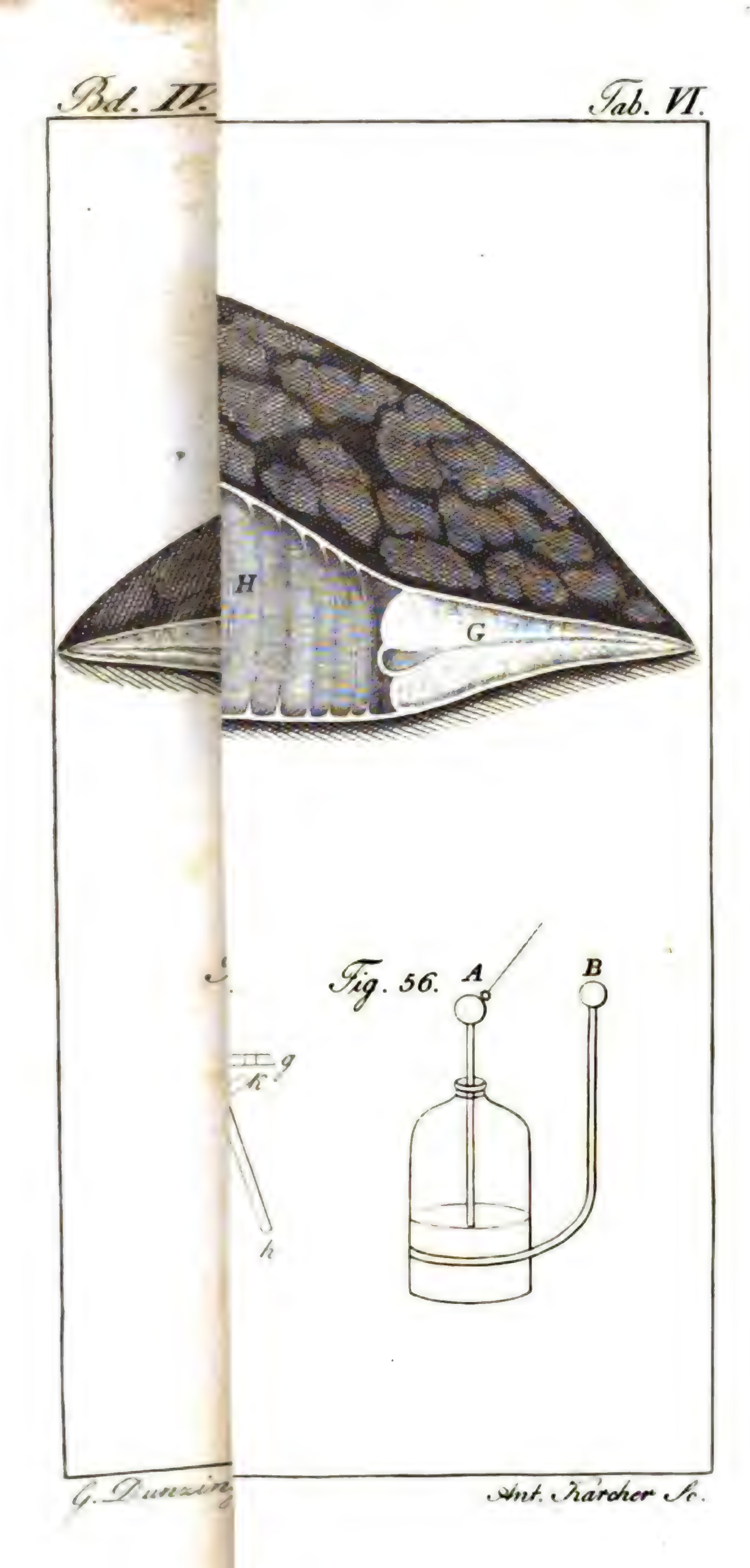
G. Dunz

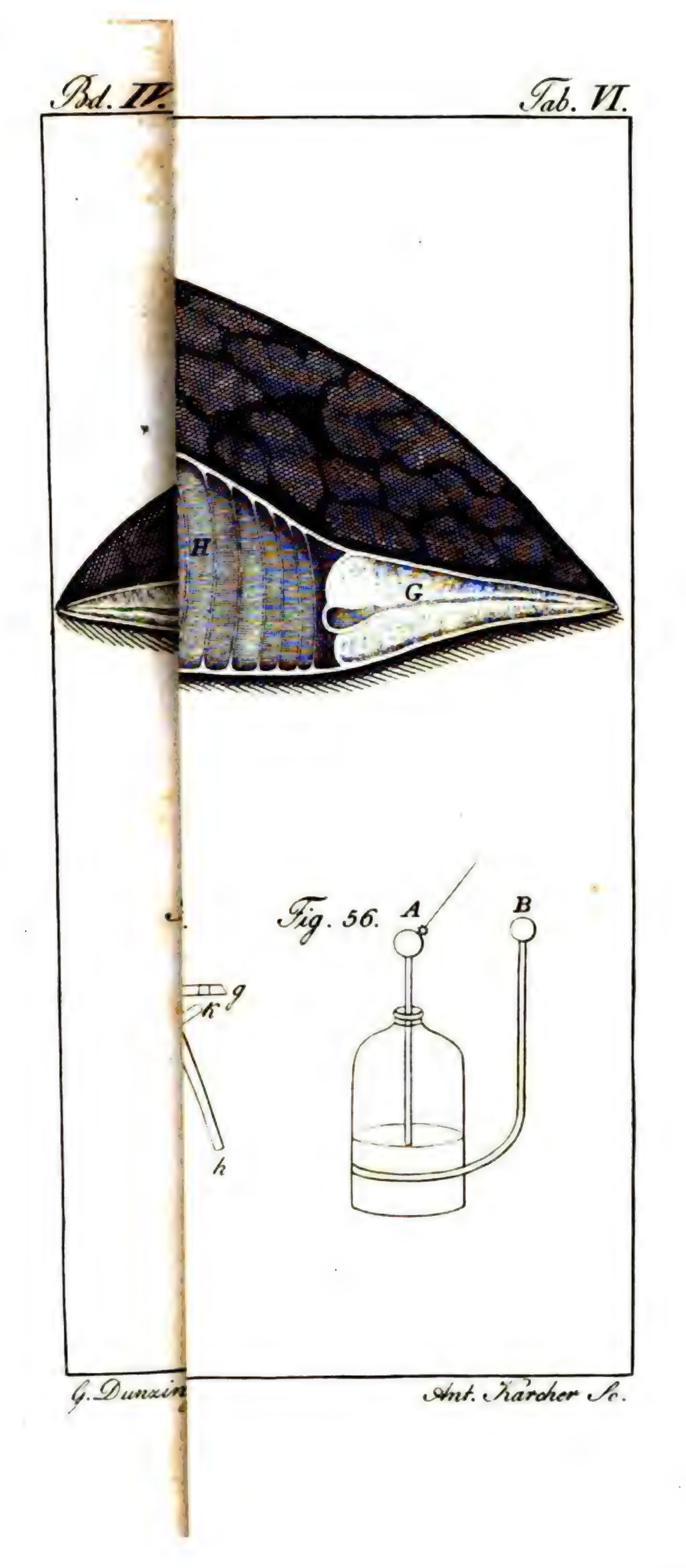
Ant. Karcher Sc.



G. Lunz Ant. Karcher Sc.


Bd. I
Tab. V.
Fig. 48.
E
L
H
K
M
C
B
Fig. 51.
m
m
c
g
p
p
G. Dun
Ant. Karcher Sc.


Bd. IV.
Tab. VI.
H
G
Fig. 56.
A
B
g
k
h
Ant. Karcher Sc.

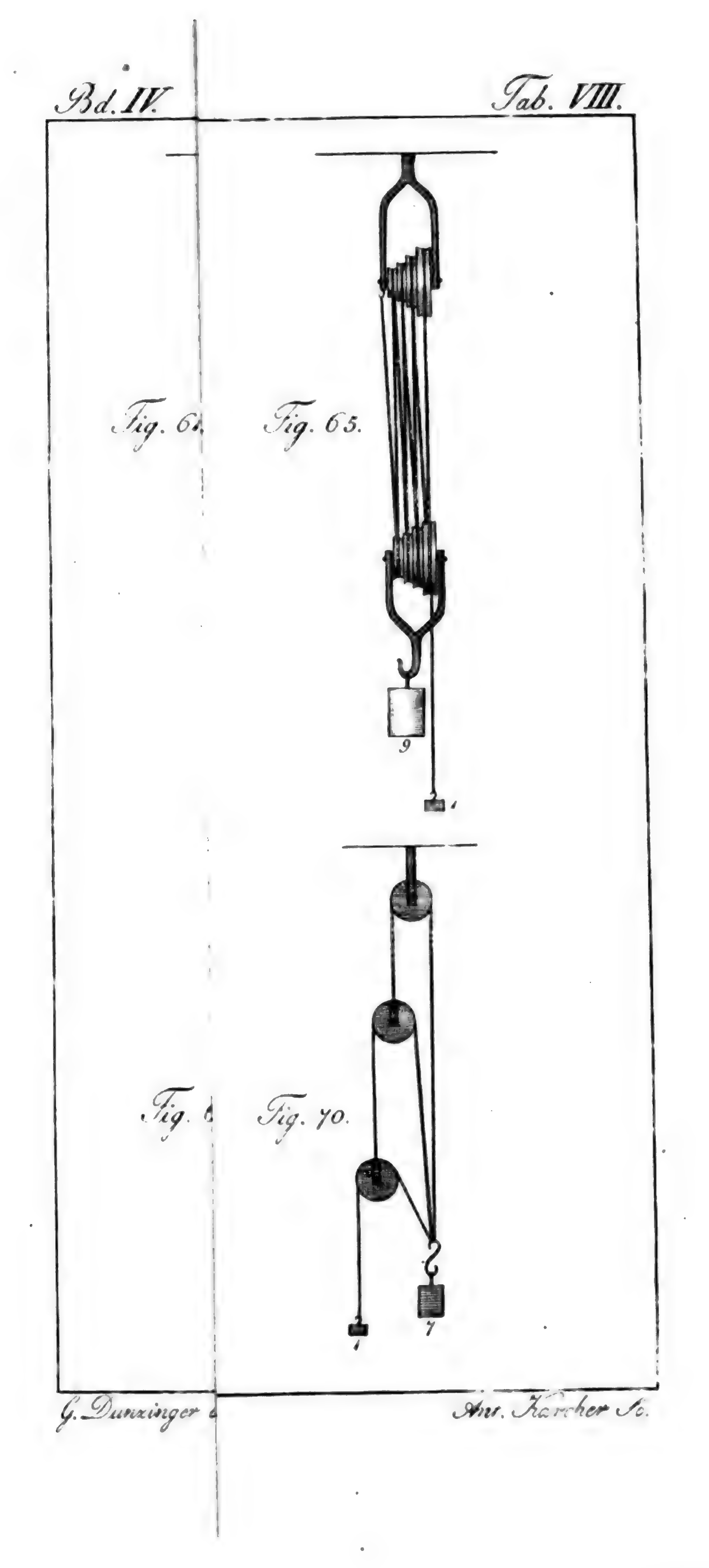


G. Dunzin[...] Ant. Karcher Sc.

G. Dunzinger del.

Fig. 59.
d
n
c
x
y
b
a
m

g. 60.
K
a n
o
v
z
c
m'
p
z'
r
o'
m b
K



G. Dunzinger Ant. Karcher Sc.

Fig. 64.

Fig. 65.

9

1

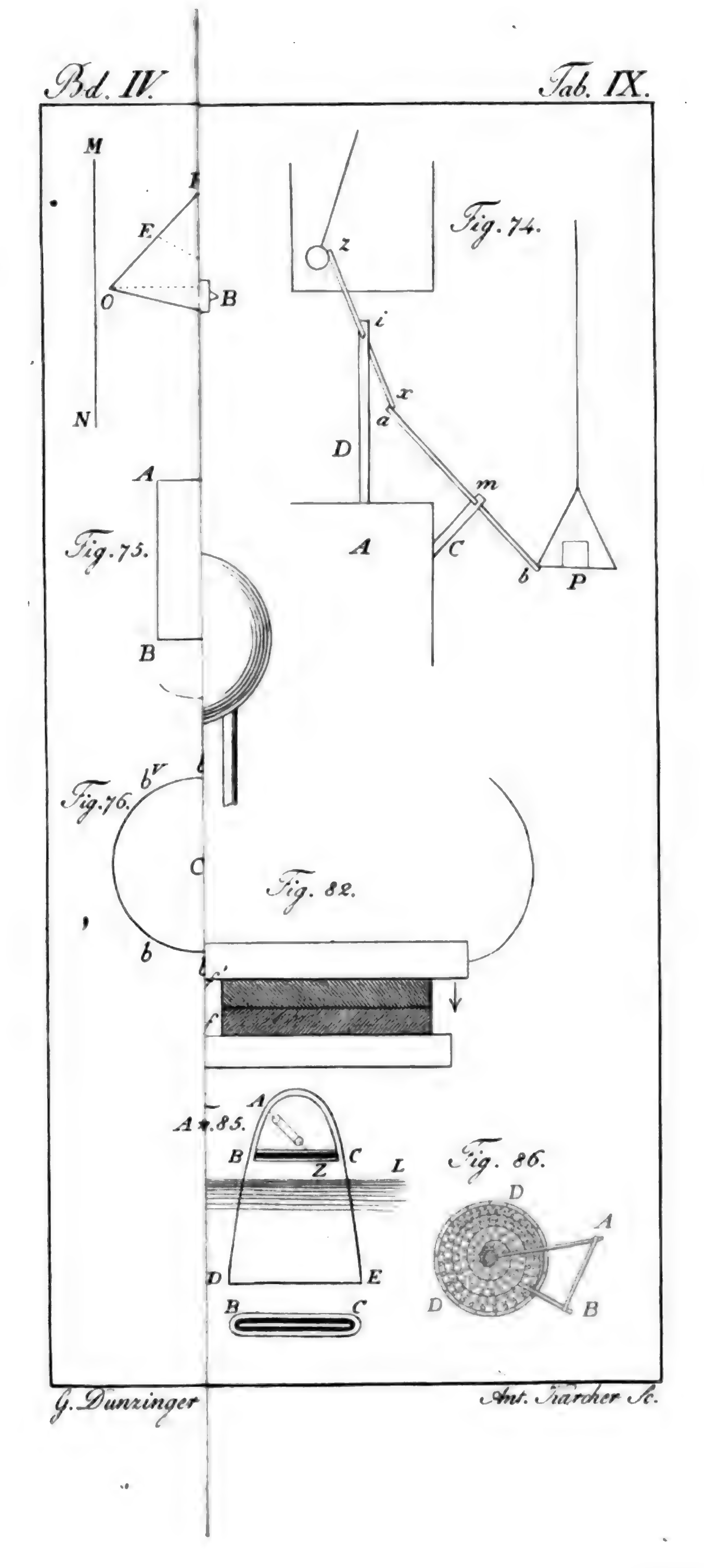
Fig. 6

Fig. 70.

1

7

G. Dunzinger d. Ant. Karcher Sc.



Bd. IV.
Tab. IX.
M
F
E
O
B
N
Fig. 74.
z
i
x
a
D
m
A
C
b
P
A
Fig. 75.
B
Fig. 76.
b
C
b
Fig. 82.
f
A
B
C
Z
L
D
E
B
C
Fig. 86.
D
A
D
B
G. Dunzinger
Ant. Karcher Sc.

Fig. 74.

Fig. 75.

Fig. 76.

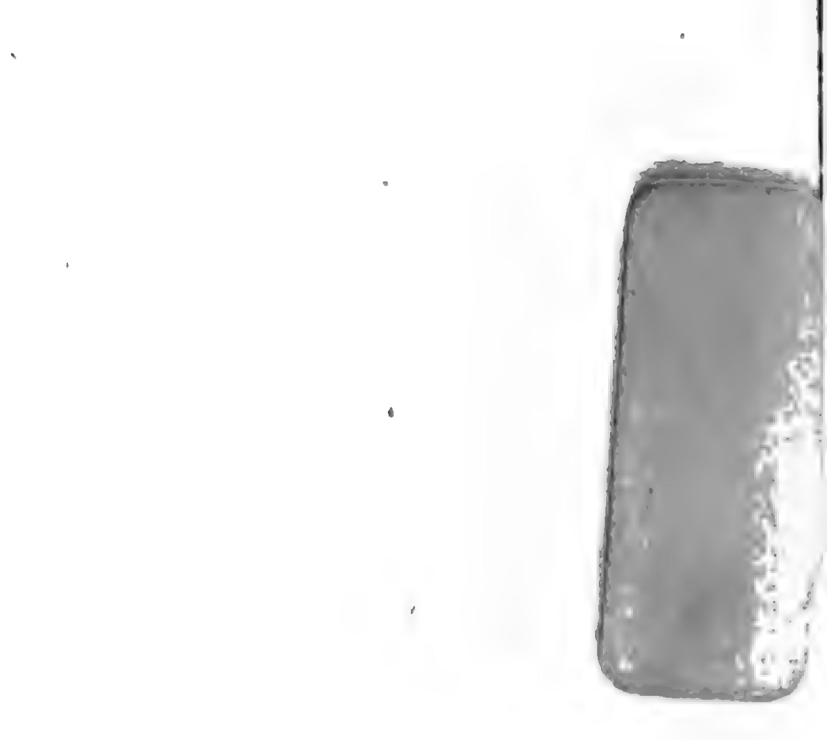
Fig. 82.

A *. 85.

Fig. 86.

G. Dunzinger Ant. Karcher Sc.


BAYERISCHE
STAATS-
BIBLIOTHEK
MUENCHEN







9.2.

